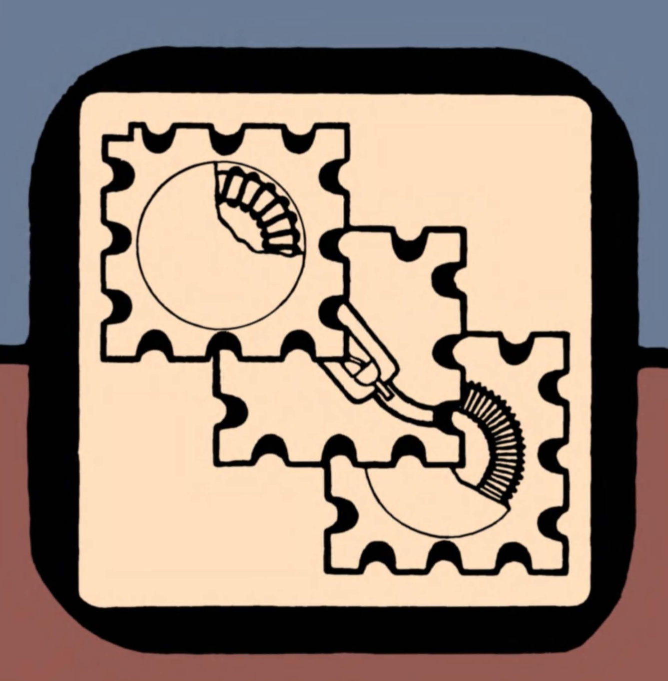




Ю. В. ЗАЙЦЕВ, А. Н. МАРЧЕНКО

МИКРОМОДУЛЬНЫЕ СХЕМЫ



МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 811

Ю. В. Зайцев,
А. Н. Марченко

МИКРОМОДУЛЬНЫЕ СХЕМЫ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1972

6Ф2.13
312 382.81
УДК 621.382.81—182.7

Зайцев Ю. В. и Марченко А. Н.

З 12 Микромодульные схемы, М., «Энергия», 1972.

80 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 811).

Описаны конструкции и параметры микроэлементов, используемых в микромодульных схемах, рассмотрены их технические и эксплуатационные характеристики. Приведены основные принципы выполнения микромодулей, даны рекомендации и приведены примеры по составлению их монтажных схем, сборке микромодулей в блоки.

Брошюра предназначена для радиолюбителей, а также может быть использована специалистами, работающими в области конструирования микромодульной электронной аппаратуры.

$\frac{3\text{-}4\text{-}5}{359\text{-}72}$ 6Ф2.13

Зайцев Юлий Владимирович,
Марченко Александр Никитич

Микромодульные схемы

Редактор *А. И. Кривоносов*
Редактор издательства *Т. В. Жукова*
Обложка художника *А. А. Иванова*
Технический редактор *Г. С. Юдаева*
Корректор *Г. Г. Желтова*

●

Сдано в набор 2/III 1972 г. Подписано к печати 3/VIII 1972 г.
Т-14010 Формат 84×108 1/32 Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 4,2 Уч.-изд. л. 5,53
Тираж 40 000 экз. Зак. 1091 Цена 23 коп.

●

Издательство „Энергия". Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

●

Московская типография № 10 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное совершенствование и усложнение электронной аппаратуры сопровождается увеличением числа используемых в схеме элементов, что ведет к увеличению потребляемой мощности, размеров и веса устройства, снижению его надежности. Для получения миниатюрного радиотехнического устройства, повышения его надежности и снижения потребляемой мощности оказалось необходимым применять не только миниатюрные элементы, но и новые методы конструирования и сборки радиоаппаратуры. Решением этих проблем занимается микроэлектроника, представляющая в настоящее время одно из основных направлений развития электронной техники.

Микромодульное направление микроэлектроники получило широкое развитие в нашей стране. Это объясняется наличием серийного производства микроэлементов, возможностью использования микромодулей для создания электронных схем любого класса сложности, простотой компоновки в радиосхеме микромодулей и других радиодеталей.

Микромодуль представляет собой конструкцию части радиосхемы, собираемую из отдельных миниатюрных радиодеталей, называемых микроэлементами. Плотность заполнения объема микромодуля составляет от 5 до 20 элементов в 1 *см*³. Как правило, в микромодуле заключена функционально законченная схема — усилитель, генератор, мультивибратор и т. д.

Существует несколько конструкций микромодулей. Наибольшее распространение получили этажерочные микромодули, выполненные из микроэлементов специальной формы, собранных в столбик и соединенных при помощи пайки вертикальными соединительными проводниками. В этажерочных микромодулях используются обычно микроэлементы, установленные на прямоугольных платах.

В миниатюрной электронной аппаратуре получили распространение также плоские микромодули. Плоский микромодуль представляет собой функционально законченный узел, выполненный из микроэлементов, смонтированных с одной или двух сторон печатной микроплаты. Для защиты от внешних воздействий плоский микромодуль устанавливается в металлический корпус и заливается компаундом. В качестве деталей при сборке плоских микромодулей используются те же микроэлементы, что и для этажерочных, но без плат.

В таблеточных микромодулях применяются микроэлементы преимущественно цилиндрической формы диаметром 0,2—5 *мм* высотой 2—3,5 *мм*. Микроэлементы размещают в отверстиях печатной платы, укрепляют термореактивной смолой и соединяют с печатными проводниками пайкой или проводящим клеем.

Плотность заполнения в таблеточных микромодулях достигает 20 элементов в 1 $см^3$.

Элементы, входящие в микромодуль, можно изготавливать в виде кубиков, грани которых служат контактными поверхностями. Благодаря наглядности этого метода сборки такая конструкция широко используется в микромодульных радиоконструкторах для учебных целей. Микромодульные радиоконструкторы позволяют в короткий срок собрать большое количество радиосхем (радиоприемники, генераторы, усилители и т. п.) и исследовать их основные характеристики, получить навыки в настройке различных радиотехнических устройств.

Расширение выпуска миниатюрных элементов (микротранзисторов, микродиодов, миниатюрных резисторов, конденсаторов, индуктивностей и т. п.) промышленного исполнения позволит в ближайшие годы широко развернуть разработку миниатюрных радиолюбительских схем на микромодулях.

Микромодульное конструирование способствует приобретению важных практических навыков по сборке сложных радиотехнических схем, вводит радиолюбителей в круг актуальнейших технических проблем современной радиоэлектроники.

Промышленный выпуск первых микромодульных конструкторов, широкий выпуск элементов для микромодульного конструирования способствуют развитию этого перспективнейшего направления конструирования радиолюбительской аппаратуры.

Сборка и настройка различных микромодульных радиосхем способствуют повышению знаний и практических навыков широкого круга учащихся, студентов вузов, техникумов. Применение микромодулей дает возможность собрать и исследовать характеристики большого числа радиосхем, способствуя более полной и ускоренной подготовке учащихся [1]. Микромодульные радиоконструкторы позволяют детально ознакомить учащихся с различными классами радиосхем, способствуя более глубокому усвоению принципов их работы.

---

[1] Модульные конструкторы используются авторами в учебных целях на кафедре электротехнических материалов Московского ордена Ленина энергетического института.

Глава первая

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МИКРОМОДУЛЕЙ

Микроэлементы — миниатюрные радиодетали специальной формы, предназначенные для работы только в составе микромодулей данной конструкции, являются основными элементами микромодулей. Микроэлементы этажерочных микромодулей имеют основание одинаковой формы и могут различаться только высотой. Несущей частью (основанием) микроэлементов служат специальные изоляционные микроплаты, на которых размещаются печатные проводящие дорожки и навесные миниатюрные радиодетали. Микроплата должна иметь достаточную механическую прочность при малой толщине. Для электрического и механического соединения микроэлементов в составе микромодуля используются специальные металлизированные пазы микроплат.

Промышленностью выпускается более 15 типов микроплат, различающихся толщиной и рельефом поверхности. Выпускаемые микроплаты изготовляются из ультрафарфора, фотоситалла и миналунда. Поперечные размеры и геометрия контура всех микроплат одинаковы, а толщина их находится в пределах от 0,35 до 1,0 *мм.*

В нашей стране в основу промышленных микромодулей положены квадратные микроплаты со стороной квадрата 9,6 *мм.* На каждой стороне микроплаты имеется по три металлизированных паза, в которые при сборке микромодуля впаиваются соединительные проводники. В одном из углов микроплаты имеется ключ — прямоугольной вырез размером $1{,}0 \times 0{,}5$ *мм,* служащий для ориентации микроплат в процессе изготовления микроэлементов, а также для ориентации микроэлементов при их сборке в микромодуль. Нумерация пазов микроплаты ведется по часовой стрелке, начиная от ключа, при нормальном расположении микроплаты.

В плоских микромодулях используются прямоугольные гетинаксовые и стеклотекстолитовые печатные платы толщиной 0,5 *мм.* Размеры плат стандартизованы: длина одной стороны платы является постоянной (16,8 *мм*), а длина другой подчиняется зависимости $4{,}8+4n$, где $n=1$, 2, 3, 4..., т. е. 8,8; 12,8; 16,8 *мм* и т. д. В одном из углов платы выполняется ключ в виде фаски $1 \times 45°$.

Для микромодулей общего применения платы изготавливаются из гетинакса марки Гв, а для микромодулей повышенной надежности — из стеклотекстолита марки СТЭФ. Печатная схема наносится на плату фотогальванохимическим методом.

При разработке конструкций микромодулей и микроэлементов не все типы радиодеталей, необходимых для создания радиоэлектронной аппаратуры, могут быть размещены на микроплатах. Поэтому одновременно с конструкциями микромодулей и микроэлементов была определена конструкция элементов в микромодульном

исполнении. Элементы в микромодульном исполнении являются малогабаритными радиодеталями с размерами, равными или кратными размерами микромодуля. Высота таких элементов не должна превышать максимальной высоты микромодулей. Выводы элементов диаметром 0,3—0,5 *мм* размещены на расстоянии 3 *мм* друг от друга.

Размеры микроплат радиолюбительских микромодульных конструкций могут быть несколько больше, чем промышленных, поэтому далее рассматриваются не только микроэлементы и элементы в микромодульном исполнении, но и миниатюрные элементы, которые используются в любительских микромодульных схемах.

Микротранзисторы и микродиоды

В выпускаемых промышленностью микромодулях широко используются германиевые и кремниевые *p-n-p* и *n-p-n* транзисторы [Л. 1]. Микротранзисторы изготовляются в металлическом корпусе со стеклянными изоляторами, герметизированном холодной сваркой. Они устанавливаются на стандартной микроплате. Конструкция микротранзистора показана на рис. 1. Цоколевка всех микротранзисторов независимо от типа одинакова: 1—5—8, т. е. база присоединяется к пазу *1*, эмиттер — к пазу *5*, коллектор — к пазу *8* микроплаты.

В радиолюбительской микромодульной аппаратуре могут быть использованы получившие широкое распространение миниатюрные транзисторы малой мощности в обычном исполнении [Л. 21]. Корпус транзистора приклеивается к микроплате при помощи эпоксидной смолы или клея БФ-2, а выводы соединяются с соответствующими пазами микроплаты. При выборе транзистора для таких конструкций следует помнить, что для получения достаточно высокой плотности заполнения микромодуля микроэлементы должны иметь небольшую высоту. Поэтому наиболее целесообразно применение транзисторов с малой высотой корпуса. Конструкции германиевых и кремниевых транзисторов малой мощности показаны на рис. 1.

Большинство миниатюрных транзисторов выпускается в металлических корпусах со стеклянными изоляторами, например: ГТ109, П27, ГТ309, П401, МП39, КТ301 и др. Кремниевые транзисторы КТ315 выпускаются в плоском пластмассовом корпусе. При использовании транзистора КТ315 в радиолюбительских микромодульных конструкциях его целесообразно укреплять на микроплате в горизонтальном положении, так как в этом случае высота микроэлемента будет составлять 4 *мм*.

В микромодулях, выпускаемых промышленностью, широко используются точечные и плоскостные полупроводниковые диоды. Так, микродиоды ДММЗВП изготовляются в круглом металлостеклянном корпусе и монтируются на плате с прямоугольным отверстием по диагонали (рис. 2). Присоединение выводов диодов производится обычно следующим образом: положительный вывод — к пазу *1* микроплаты, а отрицательный — либо к пазу *6*, либо к пазу *4*. В некоторых случаях положительный вывод присоединяется к пазу *2*, а отрицательный — к пазу *5*.

В случае установки на одной микроплате трех диодов ДММЗВП микроэлемент называется полиэлементом и обозначается 1ДМ505А. Цоколевка полиэлемента 1ДМ505А: положительные выводы—*1*, *2*,

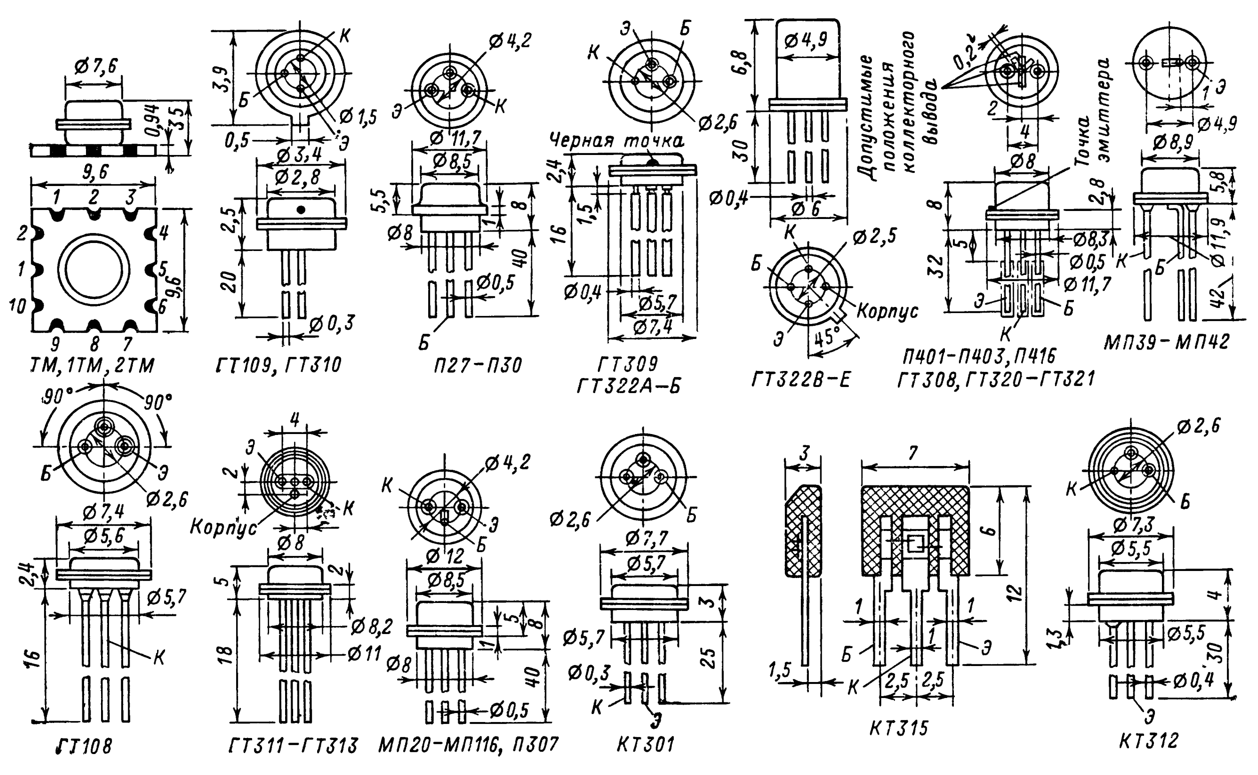


Рис. 1. Конструкции миниатюрных германиевых и кремниевых транзисторов.

3—пазы микроплаты; отрицательные выводы объединены и присоединены к пазу 7. Конструкция полиэлемента показана на рис. 2.

Микродиоды 2ДМ изготовляются в таблеточных металлостеклянных круглых корпусах и монтируются на плате с круглым отверстием в центре.

Наряду с рассмотренными типами диодов в любительской аппаратуре на модулях можно использовать большое количество миниатюрных диодов малой мощности широкого применения [Л. 13].

В качестве детекторов и преобразователей частоты, а также вентилей в маломощных выпрямителях микромодульных схем могут широко использоваться германиевые и кремниевые высокоча-

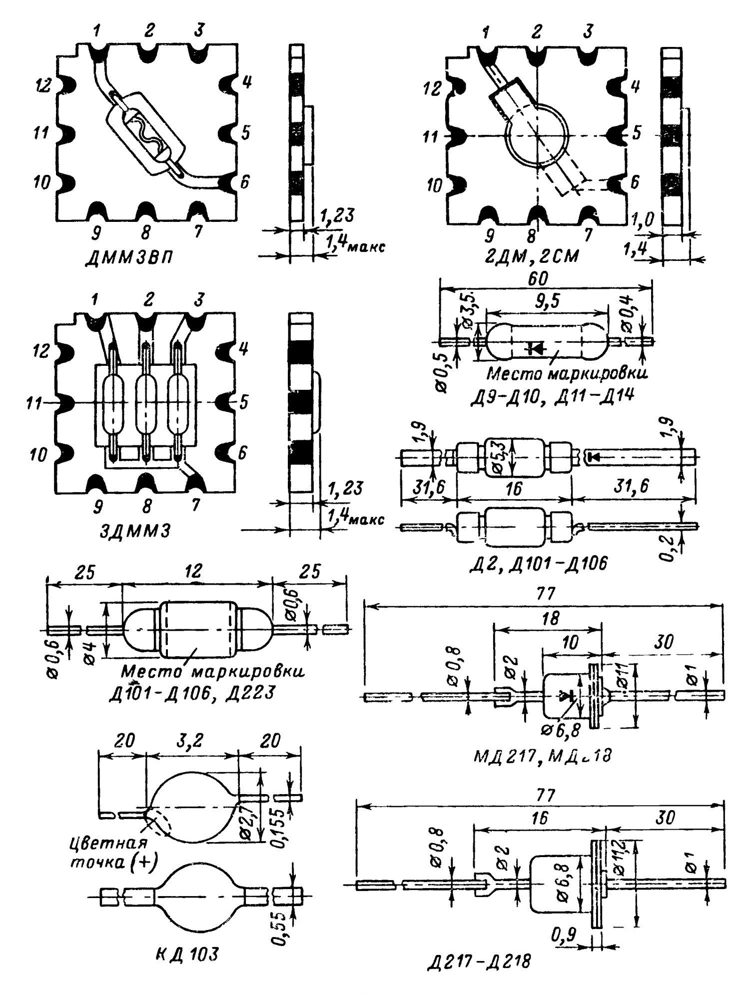


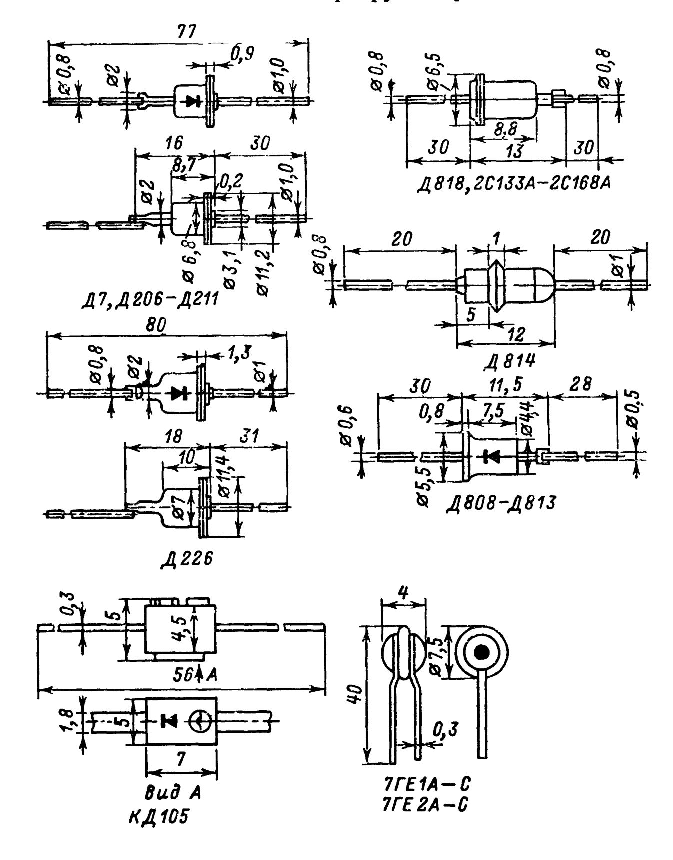
Рис 2. Конструкции полупроводниковых диодов

стотные диоды. Конструктивно диоды оформлены в стеклянных и металлостеклянных корпусах с гибкими выводами (рис. 2).

Германиевые точечные диоды Д9Б—Д9Л выпускаются в стеклянном корпусе; плюсовый вывод диодов обозначают красной точкой. Маркируют диоды путем нанесения на среднюю часть корпуса цветных точек: Д9Б—1 красная; Д9В—1 оранжевая; Д9Г—1 желтая; Д9Д—1 белая; Д9Е—1 голубая; Д9Ж—1 зеленая; Д9И—2 желтые; Д9К—2 белые; Д9Л—2 зеленые.

Германиевые точечные диоды Д11—Д14А оформлены в металлическом корпусе со стеклянными изоляторами; плюсовый конец корпуса диодов окрашен в красный цвет, минусовый — в синий. При эксплуатации диодов при повышенной температуре необходимо учитывать снижение величины допустимого обратного напряжения.

Кремниевые точечные диоды Д101—Д106А и Д223—Д233Б выпускаются в металлостеклянных герметичных корпусах и допускают эксплуатацию при повышенных температурах. Точечные микросплавные диоды Д223—Д223Б маркируют путем нанесения на корпус



и стабилитронов малой мощности.

красных точек: Д223—4 точки; Д223А—2 точки; Д223Б—3 точки. Для указания полярности диода плюсовый конец его корпуса окрашивают в красный цвет, а минусовый — в черный.

Для стабилизации напряжения и режимов работы различных узлов микромодульной аппаратуры, защиты полупроводниковых приборов от пробоя в микромодулях используются полупроводниковые стабилитроны. Наиболее широкое распространение в электронной аппаратуре получили кремниевые стабилитроны. Основной параметр стабилитрона — напряжение стабилизации или напряжение пробоя в рабочей области, где большому изменению тока через диод соответствует малое изменение напряжения. Отношение изменения напряжения стабилизации к вызвавшему его изменению тока стабилизации называется дифференциальным сопротивлением стабилитрона и характеризует степень постоянства напряжения на приборе при изменении протекающего через него тока. Важным параметром является температурный коэффициент напряжения стабилизации (ТКН), показывающий влияние изменений температуры на величину напряжения стабилизации [1].

Кремниевые стабилитроны малой мощности охватывают интервал напряжений стабилизации от 3 до 14 *в*. Однако в различных транзисторных схемах бывает необходимо стабилизировать напряжение менее 3 *в*. Для этой цели можно использовать селеновые стабилизирующие диоды 7ГЕ1А-С и 7ГЕ2А-С [Л. 14]. В отличие от кремниевых селеновые стабилитроны осуществляют стабилизацию при включении их в прямом направлении за счет наличия крутой ветви вольт-амперной характеристики в прямом направлении. Прямая ветвь вольт-амперных характеристик таких диодов обеспечивает не только необходимое опорное напряжение, но и одновременно низкое динамическое сопротивление, а также малую зависимость характеристик от температуры.

Кремниевые стабилитроны серии 2СМ выполняются в таблеточных металлостеклянных корпусах круглой формы и монтируются на плате с круглым отверстием в центре. Цоколевка стабилитронов аналогична цоколевке полупроводниковых диодов. Конструкции микромодульных стабилитронов и стабилитронов малой мощности широкого применения показаны на рис. 2.

Миниатюрные резисторы и конденсаторы

Развитие микроэлектроники привело к созданию миниатюрных постоянных и переменных резисторов, появлению специальных конструкций резисторов и специфических способов их производства [Л. 15]. В микромодульной аппаратуре используются как непроволочные миниатюрные резисторы, так и малогабаритные резисторы с токопроводящим элементом, выполненным на основе микропровода. Конструкции миниатюрных постоянных резисторов показаны на рис. 3.

Широко применяются в микроэлектронике углеродистые и бороуглеродистые резисторы типов ВС, УЛИ и БЛП. Проводящий слой резисторов ВС и УЛИ образован тонкой пленкой углерода. Для увеличения сопротивления токопроводящие элементы подвер-

---

[1] Температурный коэффициент напряжения — относительное изменение напряжения стабилизации, вызванное изменением температуры на 1 °С.

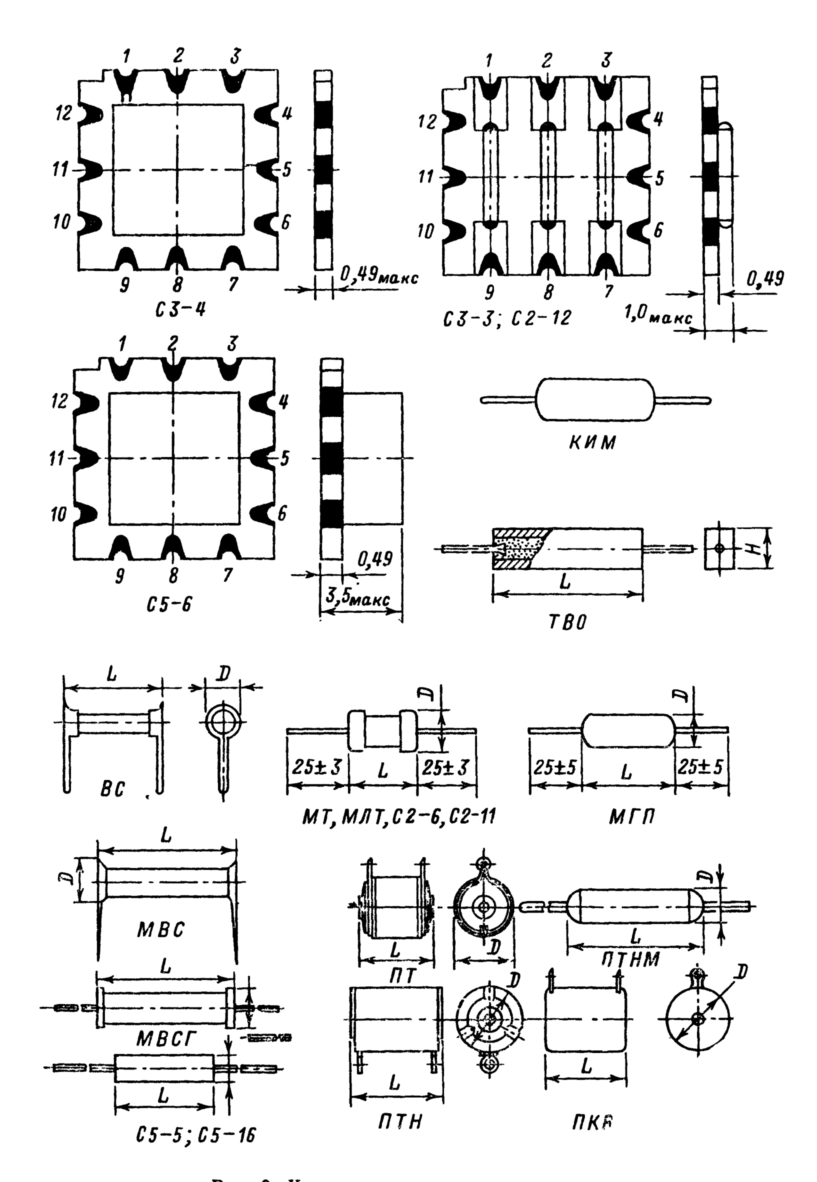


Рис. 3. Конструкции постоянных резисторов.

гаются нарезке, в результате которой проводящий слой приобретает форму ленточной спирали. Лучшая стабильность параметров резисторов УЛИ по сравнению с резисторами типа ВС достигается снижением удельной нагрузки резистора путем увеличения его теплоотдающей поверхности, улучшением контактного узла, применением более высококачественного защитного покрытия. Резисторы типа УЛИ выпускаются с допускаемыми отклонениями от номинального сопротивления ±1, ±2 и ±3%.

Бороуглеродистые лакированные прецизионные резисторы типа БЛП обладают лучшей стабильностью по сравнению с резисторами типа УЛИ. Это достигается за счет того, что проводящий слой углерода содержит примесь бора в количестве 2—5%. Допускаемые отклонения от номинальных сопротивлений составляют ±0,5 и ±1%.

У металлопленочных резисторов проводящий слой образован пленкой специального сплава высокого сопротивления, нанесенной на поверхность керамической трубки. На концы трубок с проводящим слоем напрессовываются металлические колпачки с проволочными выводами. Благодаря высокой термостойкости металлопленочных резисторов при тех же номинальных мощностях рассеяния они имеют меньшие размеры, чем углеродистые.

Широкое распространение получили металлопленочные лакированные теплостойкие резисторы типа МЛТ. Металлопленочные резисторы МТ и С2-6 относятся к резисторам повышенной теплостойкости; по конструкции, технологии и другим характеристикам они мало отличаются от резисторов МЛТ. Резисторы С2-8 являются герметизированными в керамических трубках резисторами МЛТ. Металлопленочные герметизированные прецизионные резисторы МГП отличаются высокой стабильностью параметров и малым температурным коэффициентом сопротивления.

Серия металлопленочных резисторов С2-13, С2-14 и С2-15 является наиболее высококачественной серией прецизионных резисторов. Металлопленочные прецизионные резисторы С2-10 и С2-17 предназначены для работы в цепях высоких частот.

У металлоокисных (станнатных) резисторов проводящий слой образован пленкой двуокиси олова. Резисторы типа МОН являются металлоокисными низкоомными резисторами, предназначенными для дополнения серии резисторов МЛТ в области низкоомных сопротивлений. Резисторы типа МОН выпускаются также в высокочастотном варианте. Металлоокисные резисторы С2-1 отличаются повышенными стабильностью и теплостойкостью.

Ниточные станнатные микрорезисторы С2-12 предназначены для использования в микромодулях; они выпускаются наклеенными на стандартную микроплату до 5 шт. на одной плате. Выводы микрорезисторов соединяются с одной из следующих пар пазов: *1-4, 1-5, 1-8*.

У композиционных лакопленочных резисторов (КИМ) материалом проводящего слоя служит пленка композиции, состоящей из сажи и связующего компонента. Резисторы типа КИМ являются малогабаритными лакопленочными резисторами; они получили в последнее время широкое распространение в миниатюрной транзисторной радиоаппаратуре. Лакопленочные композиционные резисторы С3-2 имеют таблеточную конструкцию и предназначены для использования в таблеточных микромодулях. Ниточные лакопленочные резисторы типа С3-3 представляют собой лако-сажевую композици-

онную пленку, нанесенную на нить из стекловолокна диаметром от 0,05 до 0,3 и длиной 3 и 6 *мм*. Концы нити покрывают контактным клеем и запекают. Для использования в микромодулях резисторы С3-3 наклеиваются на стандартную микроплату; их выводы присоединяются к соответствующим пазам.

Лакопленочные резисторы С3-4 получают путем нанесения резистивного слоя на поверхность стандартных керамических микроплат с последующей термообработкой. Эти резисторы широко используются в микромодульной аппаратуре. Выводы резисторов соединяются со следующими пазами микроплаты: *1-4, 1-5, 1-8*.

Наряду с пленочными резисторами в электронной аппаратуре нашли применение непроволочные резисторы объемного типа. Токопроводящий элемент объемных резисторов представляет собой стержень из композиционного материала, запрессованный в керамическую трубку и состоящего из проводящего компонента, связующего вещества и минерального наполнителя. Теплостойкие влагостойкие объемные резисторы типа ТВО отличаются большими допустимыми импульсными нагрузками. Плоская конструкция резисторов облегчает их крепление за корпус путем приклеивания к плате. Объемные резисторы С4-1 имеют аналогичную конструкцию и параметры, но допускают рассеивание номинальной мощности при температуре +300 °С.

В микромодулях и малогабаритной электронной аппаратуре используются миниатюрные проволочные точные резисторы. Для проволочных резисторов характерны высокая стабильность параметров и низкий температурный коэффициент сопротивления. Проволочные постоянные резисторы типа С5-6 и С5-18 выполнены на стандартных микроплатах и предназначены для использования в микромодулях, работающих в цепях постоянного и переменного тока частотой до 20 *кгц*. В резисторе С5-13 в качестве резистивного элемента применена металлическая лента, а не провод, что позволяет уменьшить индуктивное сопротивление и повысить надежность изделия. Резисторы С5-14Т и С5-17Т имеют одинаковые технические характеристики и различаются конструктивным оформлением: резистор С5-14Т имеет однонаправленные выводы и предназначен для печатного монтажа, а резистор С5-17Т имеет осевые выводы.

Проволочные постоянные резисторы типа С5-20 выпускаются установленными на стандартных микроплатах и используются в качестве нагревательных элементов для стабилизации температурного режима микромодулей с использованием систем терморегулирования.

Проволочные герметизированные резисторы типа С5-25Т обладают повышенной стабильностью параметров и малым температурным коэффициентом сопротивления.

Проволочные многослойные резисторы типов ПТ, ПТН и ПТМ изготовляют на основе нихромовой и манганиновой изолированной проволоки. Проволочные точные малогабаритные резисторы типов ПТМН, ПТМК и ПТММ выполнены соответственно на основе нихромового, константанового и манганинового провода.

Наряду с рассмотренными типами постоянных резисторов в микромодульной электронной аппаратуре широко используются миниатюрные переменные и подстроечные резисторы. Свойства переменных резисторов характеризуются в основном теми же параметрами, что и постоянных. Специфическими параметрами переменных резисторов являются: начальный скачок сопротивления — величина

скачкообразного изменения сопротивления на начальном участке регулировочной характеристики, начиная с которой при вращении оси резистора сопротивление изменяется монотонно, значение начального скачка дается обычно в процентах номинального сопротивления переменного резистора; износоустойчивость — относительное изменение сопротивления резистора после определенного числа циклов поворота подвижной системы резистора; минимальное сопротивление — сопротивление между средним и крайним выводами резистора при повороте оси резистора в крайнее положение до упора. Важной

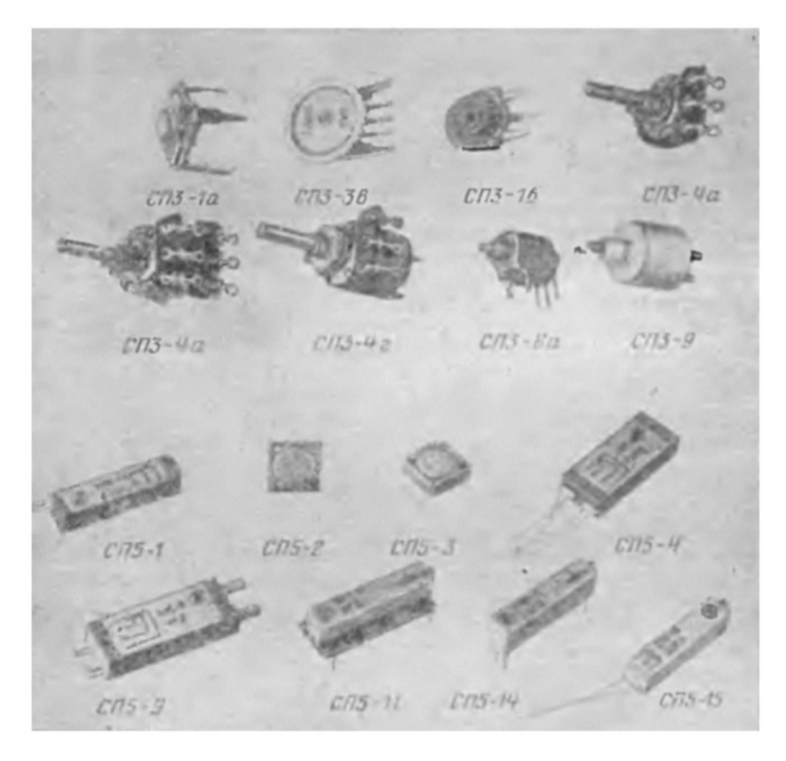


Рис. 4. Конструктивное оформление миниатюрных переменных резисторов.

характеристикой переменного резистора является закон регулирования, или функциональная характеристика, т. е. закон изменения сопротивления от угла поворота подвижной системы резистора. Промышленностью выпускаются переменные резисторы с линейной и нелинейной (логарифмической и обратно логарифмической) функциональными характеристиками.

Так же как и постоянные резисторы, переменные получают на основе различных проводящих материалов — композиционных, металлических и металлоокисных пленок, объемных композиций на ор-

ганической и неорганической связке, сплавов высокого удельного сопротивления в виде проволоки. Переменные резисторы выпускаются в разнообразных конструктивных вариантах: цилиндрические, дисковые, однооборотные, многооборотные, сдвоенные, с выключателем и т. д. Внешний вид некоторых переменных резисторов показан на рис. 4.

Промышленностью выпускается большое число типов конденсаторов: электролитические, оксидно-полупроводниковые, пленочные, керамические, бумажные и металлобумажные. Конструкции микромодульных конденсаторов показаны на рис. 5.

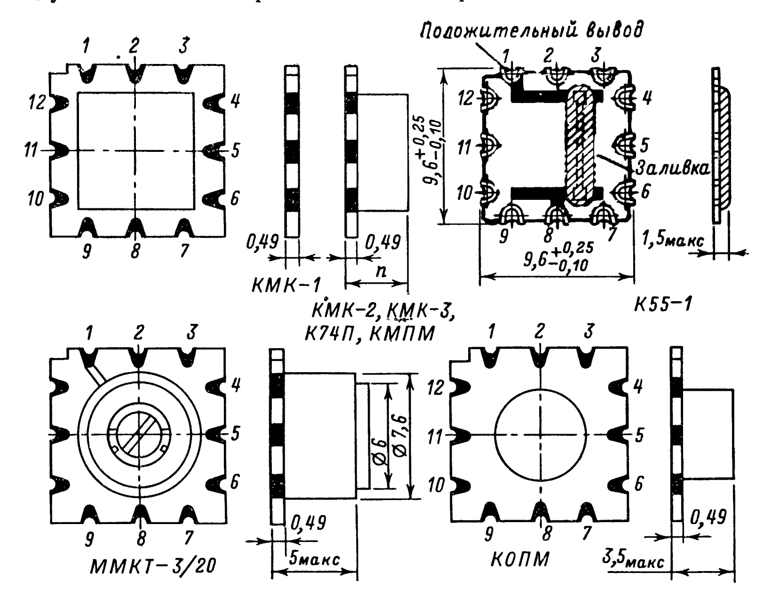


Рис. 5. Конструкции конденсаторов в микромодульном исполнении.

В последние годы в связи с развитием полупроводниковой электроники, которая не требует высоких значений номинальных напряжений, широкое распространение получили керамические конденсаторы. Керамические конденсаторы типа КМК выпускаются установленными на стандартных микроплатах и предназначены для использования в микромодулях, работающих в цепях постоянного и переменного тока в интервале температур от —60 до +125 °С. Конденсаторы КМК выпускаются трех видов: однослойные КМК-1 и многослойные КМК-2 и КМК-3. Выводы всех типов конденсаторов присоединяют к одной из следующих пар пазов микроплаты: *1-4, 1-5, 1-8*. Тангенс угла потерь конденсаторов КМК составляет 0,0015. По величине температурного коэффициента емкости керамические конденсаторы КМК делятся на семь групп. Каждая группа конденсаторов маркируется двумя цветными точками.

Керамические конденсаторы К10-7 изготовляются в двух вариантах: К10-7А и К10-7В, различающихся величиной номинального

напряжения. Конденсаторы серии К10-7А представляют собой прямоугольную пластину с нанесенными на плоскости серебряными электродами и имеют толщину диэлектрической пленки 0,35—0,40 *мм*. Для получения высокого рабочего напряжения (до 250 *в*) серебряные электроды наносятся не на всю поверхность пластины, а лишь на среднюю ее часть, в то время как по периметру пластины остается неметаллизированная полоса или зазор, что увеличивает межэлектродный промежуток.

Конденсаторы серии К10-7В относятся к так называемой «беззазорной» конструкции, т. е. они не имеют межэлектродных промежутков на плоскости пластины. Эта особенность конструкции конденсаторов позволяет полностью использовать объем керамического диэлектрика, что значительно повышает их удельную емкость и дает возможность уменьшить их габаритные размеры. Однако поскольку межэлектродные промежутки у конденсаторов невелики (0,18—0,22 *мм*), рабочее напряжение конденсаторов К10-7В не превышает 10 *в*.

Конденсаторы обеих серий имеют однонаправленные выводы, для повышения влагостойкости и механической прочности конденсаторы покрыты защитным компаундом. По величине температурного коэффициента емкости конденсаторы К10-7 делятся на четыре группы от $3 \cdot 10^{-5}$ до $1,5 \cdot 10^{-3}$ 1/*град*, каждая из которых имеет определенную цветовую маркировку: сочетание цвета покрытия конденсатора и цвета маркировочной точки.

Клиновидные керамические конденсаторы К10-У2 являются безиндукционными, безвыводными конденсаторами. Они представляют собой спрессованную обожженную керамику, на которую нанесены серебряные обкладки, служащие выводами при монтаже конденсаторов в аппаратуре. Режим пайки конденсаторов должен исключать термоудар, поэтому перед пайкой они должны быть предварительно нагреты, чтобы перепад между температурой конденсатора и температурой припоя не превышал 100 °С. В зависимости от величины температурного коэффициента емкости конденсаторы выпускаются шести групп; тангенс угла потерь для различных групп составляет 0,0012—0,035.

Керамические конденсаторы К10-У5 обладают высокой удельной емкостью, близкой к электролитическим конденсаторам, и имеют предельную номинальную емкость 2,2 *мкф*. Однако эти конденсаторы имеют невысокое сопротивление изоляции и значительную величину тангенса угла потерь, что сужает их область применения.

Конденсатор К10-У5 представляет собой диск из сегнето-керамического материала, на торцевые поверхности которого наносятся серебряные электроды и крепятся медные посеребренные выводы. Для защиты от воздействия окружающей среды конденсатор покрывается компаундом. Независимо от диаметра толщина всех типов конденсаторов К10-У5 не превышает 5 *мм*.

Керамические конденсаторы типа К10-15 обладают высокой удельной емкостью (до 0,8 *мкф/см*^{2}) и широким диапазоном номинальных емкостей. Конструктивно конденсаторы оформлены в виде прямоугольных пластин толщиной 3 *мм* и имеют однонаправленные выводы.

Керамические конденсаторы К10-18 и К10-19 предназначены для использования в высокочастотной радиоэлектронной аппаратуре метрового и дециметрового диапазонов. Конденсаторы К10-18 выпускаются в двух вариантах: К10-18а и К10-18б, различающихся

конструктивным оформлением. Конденсаторы К10-18а представляют собой диск толщиной 4 *мм* с контактными поверхностями на торцах, путем припаивания к которым и осуществляется включение конденсаторов в схему; конденсаторы К10-18б также имеют дисковую конструкцию, но снабжены лепестковыми выводами, укрепленными на торцах.

Конденсаторы К10-19 имеют бусинковую конструкцию и однонаправленные выводы; по температурной стабильности конденсаторы разбиты на семь групп. Тангенс угла потерь обоих типов конденсаторов не превышает 0,0015 для шести групп и 0,035 для одной группы.

Керамические конденсаторы К10-22 имеют бусинковую конструкцию и предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного тока в составе герметизированных блоков аппаратуры на основе микромодулей и микросхем. В зависимости от температурной стабильности конденсаторы разбиты на две группы и имеют значения тангенса угла потерь 0,01 и 0,2 соответственно. Малогабаритные керамические конденсаторы К10-23 предназначены для использования в микромодульной аппаратуре.

В оксидно-полупроводниковых конденсаторах между обкладками располагается полупроводниковый слой окисла металла, что позволяет получить высокую стабильность электрических характеристик изделий. Оксидно-полупроводниковые конденсаторы типа КОПМ-2 выпускаются установленными на стандартной микроплате и предназначены для работы в составе микромодуля в цепях постоянного и пульсирующего тока. Тангенс угла диэлектрических потерь таких конденсаторов составляет не более 0,15.

Алюминиевые оксидно-полупроводниковые конденсаторы типа К53-8 представляют собой алюминиевую фольгу, покрытую слоем двуокиси марганца, на который нанесен слой оловянно-свинцового припоя. Проволочные выводы присоединяют к алюминиевой фольге и слою припоя. В таком виде конденсатор помещается в пластмассовый корпус и заливается эпоксидным компаундом. Тангенс угла диэлектрических потерь таких конденсаторов составляет не более 0,2.

В последние годы широкое применение в производстве конденсаторов нашел тантал. Оксидная пленка на нем отличается высокой химической стабильностью и высокими диэлектрическими свойствами. Оксидно-металлические ниточные танталовые конденсаторы типа К55-1 выпускаются установленными на стандартных керамических микроплатах и предназначены для работы в составе микромодулей этажерочного типа в цепях постоянного и пульсирующего тока. Температурный коэффициент емкости не более $4 \cdot 10^{-4}$ 1/*град*; тангенс угла диэлектрических потерь при комнатной температуре не превышает 0,05.

Танталовые конденсаторы вследствие дефицитности исходного материала (тантала) имеют значительную стоимость.

Наиболее близким по электрическим характеристикам к танталу является ниобий. Диэлектрическая проницаемость окиси ниобия в 1,5 раза выше диэлектрической проницаемости окиси тантала, что позволяет увеличить удельную емкость ниобиевых конденсаторов.

Ниобиевые конденсаторы типа К53-4 имеют цилиндрическую конструкцию диаметром от 3,2 до 7,2 и длиной от 7,5 до 16 *мм* и осевые выводы. Конденсаторы выпускаются 37 типономиналов

емкостью от 0,47 до 100 *мкф*. Тангенс угла диэлектрических потерь не превышает 0,2.

Широкое распространение в электронной аппаратуре получили пленочные конденсаторы с диэлектриком из синтетических пленок— полистирола, полиэтилентерефталата и др.

Наиболее важными свойствами полистирольных конденсаторов являются высокое сопротивление изоляции и низкая диэлектрическая абсорбция. Конденсаторы с такими свойствами могут использоваться в интегрирующих цепях, настроенных контурах с высокой добротностью, цепях точной выдержки времени.

Малогабаритный полистирольный конденсатор ПМ состоит из двух полосок алюминиевой фольги, служащих обкладками, отделенных одна от другой слоем полистирольной пленки и свернутых вместе с диэлектриком в рулон. Осевые выводы конденсаторов изготовлены из медной проволоки.

Промышленностью выпускаются пленочные конденсаторы ПМ-1 и ПМ-2, различающиеся конструктивным оформлением. Конденсатор ПМ-1 является конденсатором открытого типа, а секция конденсатора ПМ-2 заключена в цилиндрический алюминиевый корпус, торцы которого залиты компаундом. Температурный коэффициент емкости конденсаторов в интервале температур от +20 до +70 °С не более $2 \cdot 10^{-4}$ 1/*град*; тангенс угла диэлектрических потерь в нормальных условиях не превышает $1,5 \cdot 10^{-3}$.

Стеклопленочные конденсаторы типа К21-7 могут использоваться при постоянном, переменном и импульсном напряжении при повышенных температурах и отличаются высоким сопротивлением изоляции — не менее 10^{10} *ом*. Конструктивно конденсаторы оформлены в прямоугольный корпус и имеют однонаправленные выводы.

В конденсаторах К73-9, К74-5 и К74-8 диэлектриком служит пленка из полиэтилентерефталата (лавсана). Конденсаторы К73-9 предназначены для использования в цепях постоянного и пульсирующего тока и имеют открытую конструкцию плоско-овальной формы с однонаправленными выводами. Для уменьшения индуктивности применена безындукционная намотка секций конденсатора; защита от воздействия окружающей среды осуществлена с помощью покровного эпоксидного компаунда. Тангенс угла потерь конденсатора не более 0,01. Конденсаторы включают в себя 15 типономиналов: емкостью 1 000—6 800 *пф* имеют размеры 5,5 × 2,5 × 13,5 *мм*, емкостью от 0,01 до 0,22 *мкф* — от 6,5 × 3,5 × 13,5 до 16,5 × 10,5 × 17 *мм*. Конденсаторы выпускаются на номинальное напряжение 50 *в*, но могут работать при напряжении 100 *в* при сокращении срока службы вдвое. Выводы конденсаторов проволочные однонаправленные. Конденсаторы К74-8 выпускаются в пластмассовых корпусах прямоугольной и цилиндрической форм с однонаправленными и осевыми выводами соответственно.

Пленочные конденсаторы К74П-4 и КМПМ выпускаются установленными на стандартной микроплате и предназначены для работы в составе микромодулей в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока. Оба конденсатора имеют идентичную конструкцию. Тангенс угла диэлектрических потерь для К74П-4 не превышает 0,01, для КМПМ-0,015.

Электролитические конденсаторы К50-6 разработаны в трех конструктивных вариантах. Конденсаторы вариантов I и II с проволочными выводами предназначены для схем с печатным монтажом. Конденсаторы самых больших размеров (вариант III) име-

ют лепестковые выводы и при монтаже в аппаратуре крепятся за корпус с помощью хомутика.

Наряду с конденсаторами постоянной емкости в микромодульной аппаратуре используются подстроечные конденсаторы и конденсаторы переменной емкости. Подстроечный конденсатор ММКТ-3/20 выпускается установленным на стандартной микроплате размером 9,6 × 9,6 *мм*. Тангенс угла потерь равен 0,03, а температурный коэффициент емкости не более $8 \cdot 10^{-4}$ 1/*град*.

Керамические подстроечные конденсаторы типа КТ4-20 предназначены для использования в схемах с печатным монтажом. Тангенс угла диэлектрических потерь не более $2 \cdot 10^{-3}$ 1/*град*.

Керамические двухсекционные конденсаторы переменной емкости типа КП4-3Б, КП4-3В и КП4-3Г предназначены для использования в миниатюрных многодиапазонных радиовещательных супергетеродинных приемниках. Конструктивно конденсаторы оформлены в прямоугольном корпусе, имеют однонаправленные выводы и предназначены для печатного монтажа.

Миниатюрные нелинейные резисторы

Наиболее распространенными нелинейными полупроводниковыми резисторами являются терморезисторы, фоторезисторы и варисторы, которые нашли широкое применение в радиосхемах.

Терморезисторы — это резисторы, сопротивление которых значительно изменяется при изменении температуры (рис. 6,*а*). Наиболее широкое распространение получили терморезисторы, у которых сопротивление резко уменьшается с увеличением температуры: терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (рис. 6,*а*). В последние годы разработаны терморезисторы с высоким положительным ТКС в определенном интервале температур (позисторы).

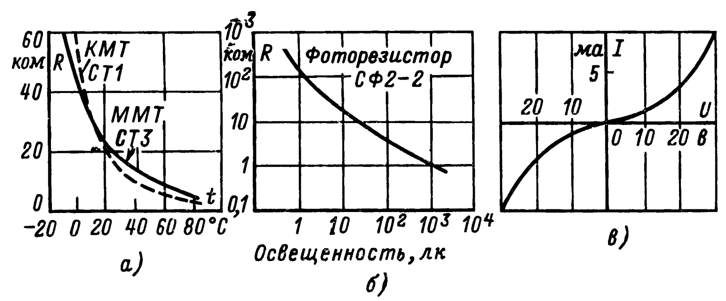


Рис. 6. Характерные зависимости для терморезистора (*а*), фоторезистора (*б*) и варистора (*в*).

Фоторезисторы — приборы, основанные на изменении проводимости полупроводникового материала под действием электромагнитного излучения. С увеличением интенсивности света сопротивление фоторезистора может уменьшаться на несколько порядков (рис. 6,*б*).

Варисторы — нелинейные резисторы, сопротивление которых значительно изменяется при изменении приложенного напряжения (рис. 6,*в*)*.

Конструктивное оформление и параметры терморезисторов. Конструкции терморезисторов весьма разнообразны: они выполняются в виде цилиндрических стержней, дисков, миниатюрных бусинок и плоских прямоугольников. Для защиты от воздействия внешней среды поверхность терморезисторов покрывают эмалями и лаками. Конструкции медно-марганцевых (ММТ) и кобальто-марганцевых терморезисторов (КМТ) приведены на рис. 7. Новые типы терморезисторов (типа СТ) выполняются на основе кобальто-марганцевых (СТ1), медно-марганцевых (СТ2) и медно-кобальтовых (СТ3) оксидных полупроводниковых терморезисторов. Их конструкции приведены на рис. 7.

Рассмотрим основные параметры полупроводниковых терморезисторов.

Номинальное сопротивление — сопротивление терморезистора при определенной температуре (обычно при 20 °С). Для высокоомных терморезисторов номинальное сопротивление указывается часто при 150 °С ($R_{150°}$). Для каждого терморезистора указывается также допускаемое отклонение от номинального сопротивления в процентах. Обычно терморезисторы выпускаются с отклонением от номинала ±10 и ±20%. Сопротивление терморезистора с отрицательным ТКС в интервале рабочих температур обычно изменяется по экспоненциальному закону

$$R = A \exp\left(\frac{B}{T}\right),$$

где A — коэффициент, зависящий от удельного сопротивления используемого материала, *ом · см*; B — коэффициент температурной чувствительности, °К, который определяется энергией активации электронов в используемом полупроводниковом материале ΔE; $B = \frac{\Delta E}{2k}$.

Коэффициент B можно рассчитать, измерив сопротивление терморезистора при двух температурах (T_1 и T_2):

$$B = 2,3\ \frac{\lg R_{T_2} - \lg R_{T_1}}{1/T_2 - 1/T_1}.$$

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) терморезистора показывает относительное изменение его сопротивления при изменении температуры на 1 °С (выражается в %/*град*). ТКС прямо пропорционален коэффициенту температурной чувствительности B; с повышением температуры ТКС уменьшается по абсолютной величине: ТКС $= -B/T^2$.

Максимальная мощность рассеяния — мощность, при которой терморезисторы, находящиеся в спокойном воздухе при температуре 20 °С, разогреваются до максимальной рабочей температуры.

---

* В отличие от терморезисторов считается, что изменение сопротивления варисторов при изменении напряжения не связано с нагреванием проводящего элемента, а обусловлено изменением напряженности электрического поля в теле варистора.

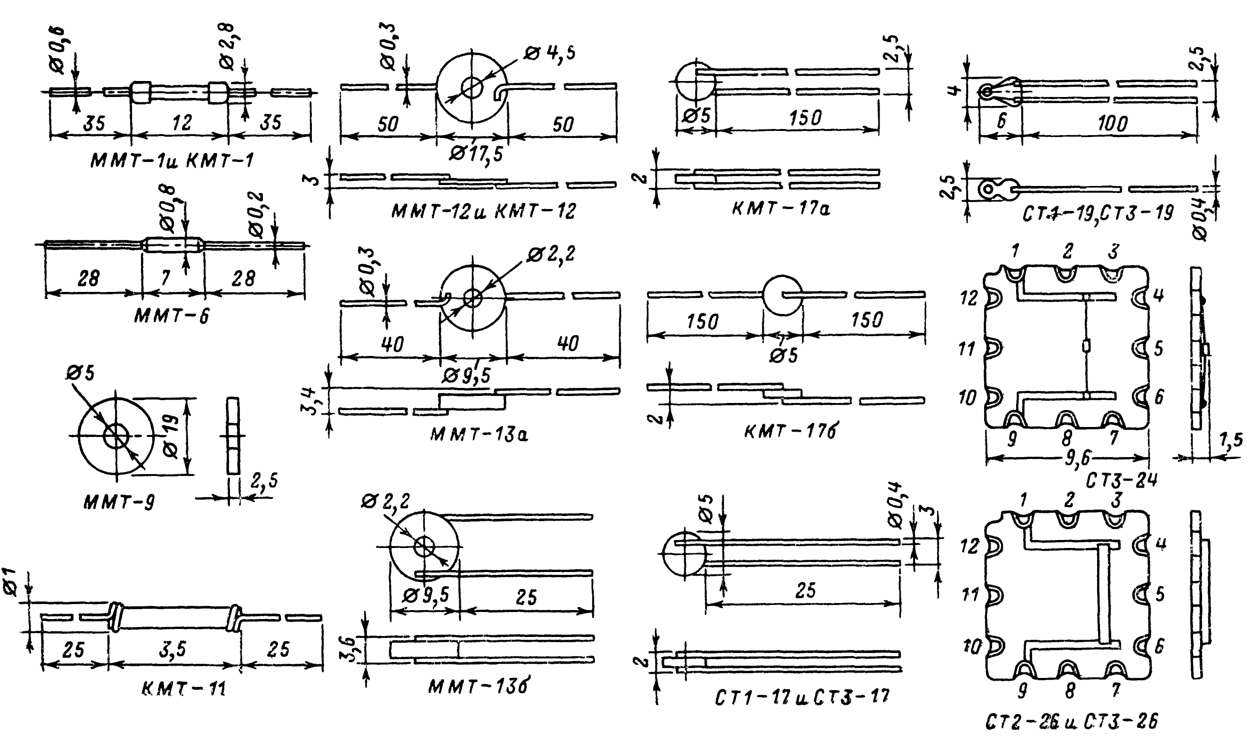


Рис. 7. Конструкции миниатюрных полупроводниковых терморезисторов.

Коэффициент рассеяния H численно равен мощности, рассеиваемой на терморезисторе при разности температур образца и окружающей среды в 1 °С.

Коэффициент энергетической чувствительности G равен мощности, которую необходимо подвести к терморезистору для уменьшения его сопротивления на 1%.

Постоянная времени τ характеризует тепловую инерционность терморезистора; это время в секундах, в течение которого температура терморезистора увеличится до 63 °С при перенесении его из среды с температурой 0 °С в среду с температурой 100 °С

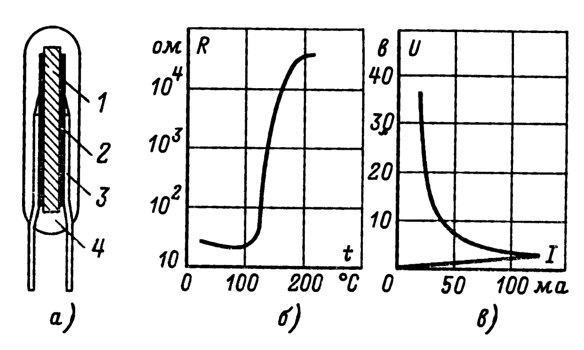


Рис. 8. Конструкция полупроводникового позистора (*а*), зависимость сопротивления от температуры (*б*) и вольт-амперная характеристика (*в*) позистора СТ5-1.

1 — терморезистивный элемент; *2* — электрод; *3* — вывод; *4* — изоляционное защитное покрытие.

В последние годы промышленностью выпускаются миниатюрные терморезисторы с положительным ТКС (позисторы) типов СТ5-1, СТ6-1Б и СТ6-3Б. Конструктивное оформление позистора показано на рис. 8,*а*. Проводящий элемент позистора выполняется из титаната бария ($BaTiO_3$), легированного редкоземельными элементами. Для позисторов характерен резкий рост сопротивления при повышении температуры до некоторого критического значения.

На рис. 8,*б* и *в* показана зависимость сопротивления позистора СТ5-1 от температуры, а также дана его вольт-амперная характеристика.

Конструктивное оформление и параметры фоторезисторов. Отечественной промышленностью в настоящее время выпускается широкая гамма миниатюрных фоторезисторов с различным конструктивным оформлением. Наиболее широкое распространение получили фоторезисторы, выполняемые на основе сернистого свинца, сернистого кадмия и селенистого кадмия. Миниатюрные фоторезисторы часто выполняются без корпуса, например: ФСА-1а, ФСК-5, ФСК-1а, ФСД-1а, ФСК-5, ФСК-7а*. У фоторезисторов ФСК-1а, ФСД-1а про-

* ФС — старое обозначение фоторезисторов. Буквами А, К, Д обозначаются материалы, используемые для светочувствительного элемента. В новых обозначениях буквы заменены цифрами, которые ставятся после индекса СФ; так, фоторезисторы СФ2 выполняются на основе сернистого кадмия, СФ3 — на основе селенистого кадмия.

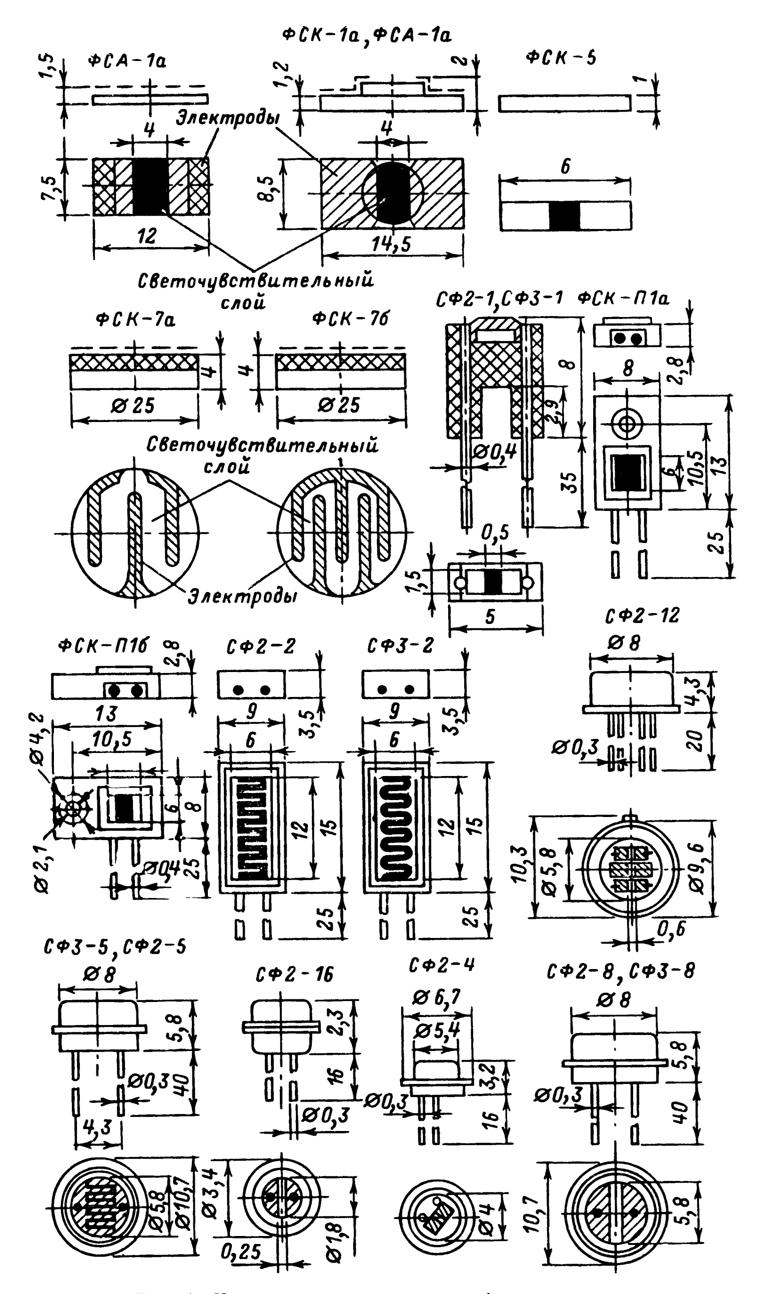


Рис. 9. Конструкции миниатюрных фоторезисторов.

водящий элемент приклеивается к стеклянной подложке, на которую нанесены серебряные электроды для создания контактов (рис. 9). У фоторезисторов ФСК-7 на светочувствительный слой нанесены три электрода, что позволяет использовать их в качестве дифференциальных элементов, чувствительных к изменению направления подающего светового луча. Фоторезисторы ФСК-7 выполняются в двух конструктивных вариантах, различающихся друг от друга расположением электродов и их конфигурацией (рис. 9).

Фоторезисторы СФ2-1 и СФ3-1 имеют прямоугольное пластмассовое основание, на торце которого укреплен элемент, защищенный сверху слоем прозрачного эпоксидного клея. Фоторезисторы СФ2-2 и СФ3-2 имеют одинаковое конструктивное оформление; различаются они материалом светочувствительного слоя, конфигурацией электродов и параметрами.

В последние годы разработаны следующие новые типы миниатюрных фоторезисторов: СФ2-4, СФ2-5, СФ3-5, СФ2-8, СФ3-8, СФ2-12, СФ2-16 (рис. 9).

Рассмотрим основные параметры фоторезистора.

Темновое сопротивление — сопротивление фоторезистора, когда его светочувствительный элемент полностью защищен от светового потока. Обычно для фоторезисторов устанавливается нижний предел значения темнового сопротивления.

Допускаемая мощность рассеяния — мощность, при которой температура проводящего элемента не превышает допустимого значения, а параметры фоторезистора лежат в пределах допустимых норм.

Рабочее напряжение фоторезистора — напряжение, которое может быть длительно (в течение указанного срока службы) приложено к фоторезистору, причем изменение его параметров не превышает заданных норм.

Кратность изменения сопротивления — отношение темнового сопротивления фоторезистора к сопротивлению при заданной освещенности (200—300 *лк*) от источника с цветовой температурой 2 850 °К; этот параметр характеризует чувствительность фоторезистора.

Световой ток — ток, протекающий по фоторезистору при рабочем напряжении и заданной освещенности (200—300 *лк*) от источника света с цветовой температурой 2 850 °К. Обычно для фоторезистора устанавливается нижний предел светового тока или среднее значение тока.

Удельная чувствительность — отношение фототока I_Φ к произведению падающего на фоторезистор светового потока Φ и приложенного к нему напряжения U:

$$K = \frac{I_\Phi}{\Phi U}, \quad ма/(лм \cdot в).$$

Часто для фоторезисторов указывается *интегральная чувствительность фоторезистора* — отношение фототока к величине светового потока.

Постоянная времени изменения фототока — время, в течение которого фототок увеличивается или уменьшается на 63% считая, что изменение тока происходит по экспоненциальному закону. Малую инерционность имеют сернисто-свинцовые фоторезисторы (40—400 *мксек*), а наибольшую — фоторезисторы, выполненные на основе сернистого кадмия (от 1 до 150 *мсек*). Вследствие инерционности

фоторезисторов величина их фототока зависит от частоты модуляции падающего излучения (рис. 10,*а*).

Спектральная характеристика фоторезистора показывает его чувствительность при воздействии излучения определенной длины волны. Вид спектральной характеристики фоторезистора определяется материалом светочувствительного элемента. Фоторезисторы на основе сернистого кадмия имеют высокую чувствительность в видимой области спектра, селенисто-кадмиевые фоторезисторы — в красной и ближней инфракрасной области спектра; максимум чувствительности у сернисто-свинцовых фоторезисторов лежит в инфракрасной области спектра (рис. 10,*б*).

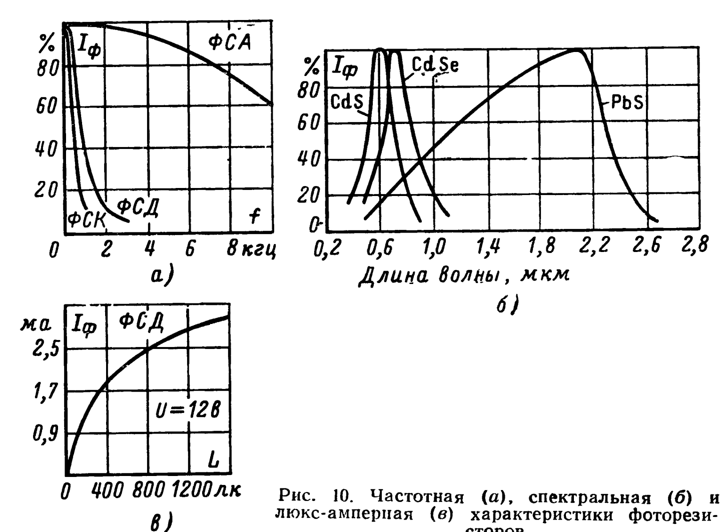


Рис. 10. Частотная (*а*), спектральная (*б*) и люкс-амперная (*в*) характеристики фоторезисторов.

Люкс-амперная характеристика — зависимость фототока от потока падающего излучения. Фоторезисторы обычно имеют нелинейную люкс-амперную характеристику (см., например, рис. 10,*в*).

Конструктивное оформление и параметры варисторов. Полупроводниковые варисторы выпускаются в следующих конструктивных вариантах: стержневые СН1-1-1 *, СН2-1-2, СН1-6, дисковые СН1-2-1 и СН1-2-2, микромодульные СН1-3. У микромодульных варисторов типа СН1-3 проводящий элемент укрепляется на стандартной керамической плате. Конструкции варисторов показаны на рис. 11.

При маркировке варистора указываются классификационное напряжение (в вольтах) и допускаемое отклонение (в процентах) от классификационного напряжения. Так, полное обозначение варистора

* В указанных обозначениях СН — сопротивление (резистор) нелинейное. Первая цифра, стоящая после букв, обозначает материал — карбид кремния, вторая цифра показывает тип конструкции: 1 — стержневой и 2 — дисковый; третья цифра — габаритные размеры изделия.

стержневого типа с классификационным напряжением 680 *в* и допускаемым отклонением ±10% имеет вид: СН1-1-1—680 *в*±10%.

Рассмотрим основные параметры варисторов.

Коэффициент нелинейности β — отношение статического сопротивления в данной точке вольт-амперной характеристики $R_c = U/I$ к дифференциальному сопротивлению $R_д = dU/dI$:

$$\beta = R_c / R_д.$$

Коэффициент нелинейности можно рассчитать, определив токи I_1 и I_2, протекающие через варистор, при напряжениях U_1 и U_2:

$$\beta = \frac{\lg I_1/I_2}{\lg U_2/U_1}.$$

Одним из основных параметров варистора является классификационное напряжение, определяемое при заданном (классификационном) значении тока.

Классификационное напряжение варистора — условный параметр, показывающий величину напряжения на нем при данном классифи-

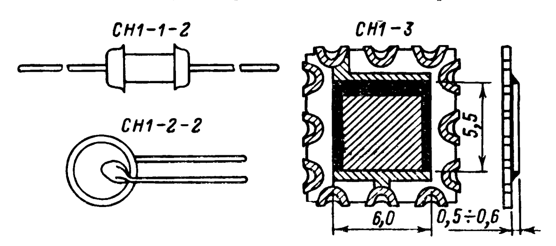


Рис. 11. Конструкции полупроводниковых варисторов.

кационном токе, т. е. классификационное напряжение не является рабочим напряжением варистора. Рабочее напряжение варистора выбирается, исходя из величины номинальной мощности рассеяния.

Номинальная мощность рассеяния — мощность, при которой варистор сохраняет свои параметры в пределах норм в течение заданного срока службы.

При нормальных условиях эксплуатации варисторы обладают высокой стабильностью параметров, лишь у отдельных образцов варисторов в первые часы работы может иметь место изменение параметров в пределах 2—3%. Срок службы варисторов составляет 3 000 *ч*.

Микромодульные индуктивные элементы

Создание отдельных классов электронных схем в микромодульном исполнении невозможно без применения индуктивных элементов. Специфической особенностью приемоусилительной аппаратуры, например, является применение большого количества избирательных элементов. До настоящего времени основным типом избирательных элементов продолжают оставаться колебательные контуры. В полупроводниковых схемах, кроме того, контур широко используется

в качестве согласующего элемента, что вызвано существенным различием во входных и выходных сопротивлениях транзисторных каскадов. Поэтому для выполнения определенных классов микромодульных схем оказалось необходимым создание миниатюрных катушек индуктивности и трансформаторов в микромодульном исполнении. Такие индуктивные микроэлементы были получены при использовании в качестве сердечников новых магнитных материалов — ферритов и пермаллоев.

Микромодульные катушки индуктивности типа ИФМ выполняются на ферритовых кольцах марок 20ВЧ, 50ВЧ, 100НН и 1000НМ и приклеиваются к стандартной микроплате (рис. 12). Выводы катушки пропускаются через специальное отверстие в микроплате и распаиваются к печатным проводникам, соединенным с пазами микроплаты. Выводы катушек индуктивности соединяют обычно с одной из следующих пар пазов микроплаты: *1-4*, *1-5*, *1-8*. Чтобы защитить катушку от компаунда, которым заливается собранный микромодуль, сверху ее закрывают полиамидным колпаком, который тоже приклеивается к микроплате. Снизу выводы катушки и отверстие, в которое они пропускаются, заливаются эмалью, с тем чтобы на катушку не попадали влага и компаунд.

Параметры катушек индуктивности в значительной мере определяются свойствами используемых магнитных материалов. В обозначениях марок ферритов число, стоящее перед буквенными индексами, соответствует начальной магнитной проницаемости материала, буквы ВЧ означают высокочастотные никель-цинковые и литий-цинковые ферриты, НН — низкочастотные никель-цинковые и литий-цинковые ферриты, НМ — низко-частотные марганец-цинковые ферриты. Так, используемые для получения катушек индуктивности типа ИФМ ферриты 1000 НМ имеют предельную рабочую частоту 100 *кгц*, 100НН— 1 *Мгц*, 20ВЧ — 5 *Мгц*, 50ВЧ — 25 *Мгц*.

Катушки индуктивности ИФМ предназначены для работы на постоянном и переменном токе величиной до 5 *ма* в интервале температур от —60 до +85 °С. Температурный коэффициент катушек индуктивности в интервале температур от —60 до +85 °С составляет $\pm 1 \cdot 10^{-3}$ *1/град* для индуктивностей от 1 до 630 *мкгн* и $\pm(3{,}7 \div 7{,}5) \cdot 10^{-3}$ *1/град* для индуктивностей от 1 000 до 2 590 *мкгн*.

Наряду с необходимостью получения определенных электрических параметров к колебательным контурам предъявляются дополнительные требования: широкие пределы регулирования резонансной частоты, необходимые для компенсации разброса параметров модулей, и хорошее сопряжение конструкции контура с микромодулями в составе аппаратуры.

Из известных контуров с подстройкой требованиям малогабаритности аппаратуры наиболее полно отвечают контуры на броневых сердечниках, подстраиваемых осевым перемещением ферромагнитного резьбового стержня. Важным фактором является выбор материала сердечника. Для контуров диапазона частот 0,2—70 *Мгц* лучшими параметрами обладает карбонильное железо марки Р-100. На основе этого материала разработаны малогабаритные броневые сердечники СБ-9, аналогичные по конструкции широко распространенному сердечнику типа СБМ. Для частот 0,2—30 *Мгц* предназначены сердечники без зазора типа СБ-9а. Для частот 20—70 *Мгц* применяются сердечники СБ-9б, которые имеют зазор, уменьшающий потери по высокой частоте. На сердечниках СБ-9а и СБ-9б можно получить

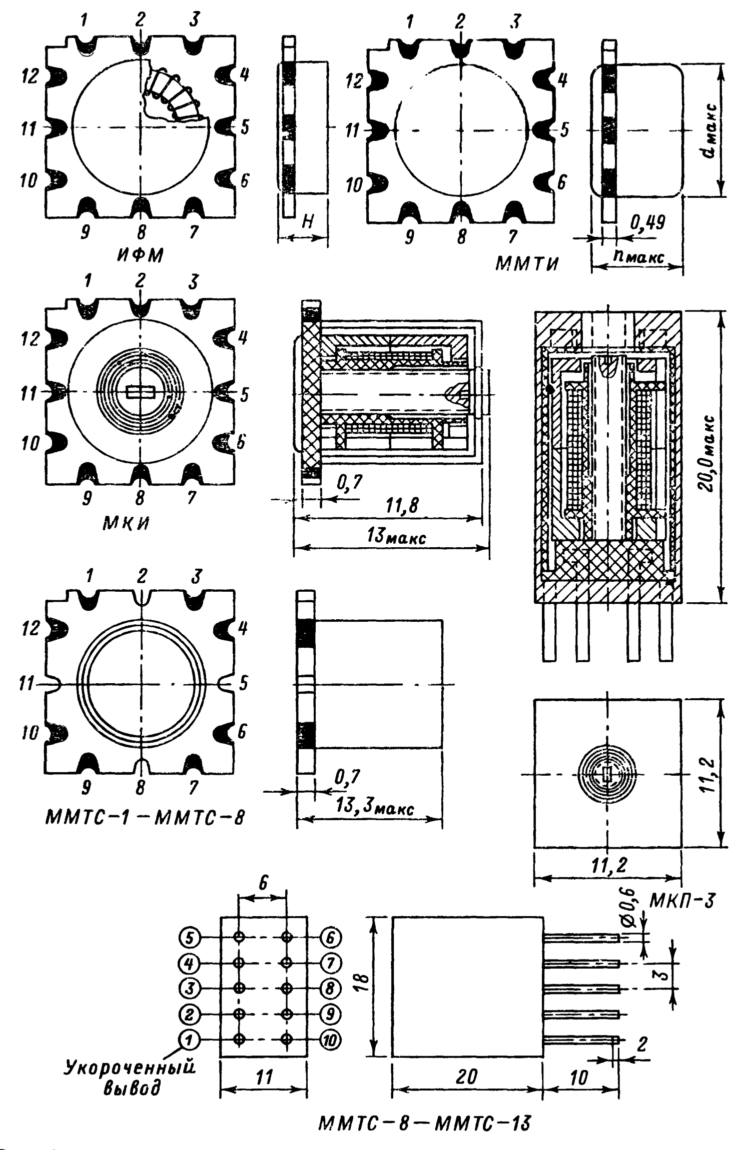


Рис. 12. Конструкции катушек индуктивности и трансформаторов в микромодульном исполнении

индуктивность от 0,5 до 1 000 *мкгн* и перекрытие 15—20%; добротность катушек с этими сердечниками составляет 50—150.

Миниатюрные броневые сердечники типа СМБ из карбонильного железа марки Р-100 имеют меньшие габариты и в 1,5 раза большее перекрытие, чем сердечники СБ-9. Величины получаемых индуктивностей лежат в пределах 0,6—1 100 *мкгн*, перекрытие 30%, добротность 40—110 в диапазоне частот 0,2—60 *Мгц*.

В микромодульной аппаратуре широко используются также ферритовые броневые чашечные сердечники с зазором. Для частот ниже 1 *Мгц* эти сердечники изготовляются из феррита марки 1000 НМ3, для частот от 1 до 10 *Мгц* — из феррита марки 50ВЧ2.

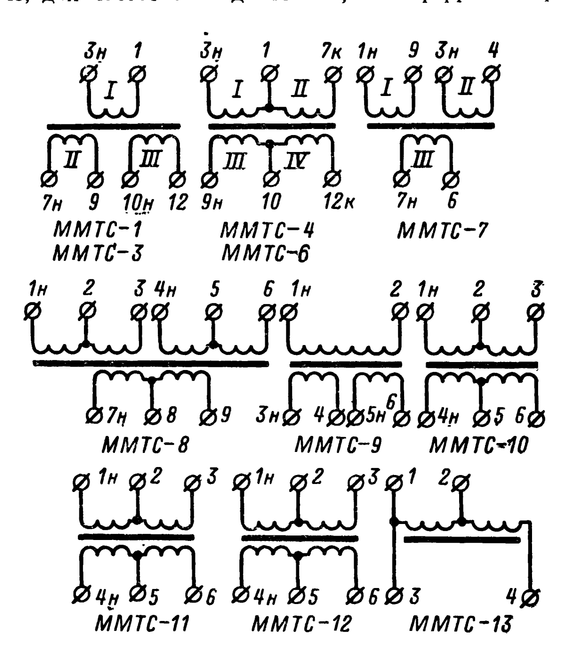


Рис. 13. Электрические схемы и цоколевка микромодульных трансформаторов серии ММТС.

Постоянные катушки индуктивности МКИ, переменные катушки индуктивности МКИП и связанные катушки индуктивности МКИС изготовляются с использованием рассмотренных малогабаритных броневых сердечников из феррита и предназначены для работы в схемах микромодулей в интервале температур от —60 до 85 °С в цепях постоянного и переменного тока с максимальным напряжением 100 *в* при токе до 5 *ма*. Катушки МКИ, МКИП и МКИС выпускаются установленными на стандартной микроплате, а катушки индуктивности МКИ-3, МКИП-3 и МКИС-3 представляют собой самостоятельный микромодуль. Величина коэффициента трансформации катушки МКИС-3 составляет от 1 до 10, а коэффициент связи не менее 0,8.

Наряду с катушками индуктивности промышленностью выпускаются миниатюрные трансформаторы в микромодульном исполнении. Микромодульные согласующие трансформаторы низкой частоты типа ММТС изготавливаются 13 типономиналов и предназначены для работы в схемах низкочастотных трактов в интервале температур от —60 до +85 °С. Трансформаторы ММТС-1—ММТС-7 рассчитаны на работу в диапазоне частот от 300 до 3 000 *гц* с неравномерностью частотной характеристики не более ±5 *дб* и коэффициентом нелинейных искажений не более 10%.

Трансформаторы ММТС-8—ММТС-13 предназначены для работы в более широком диапазоне частот: от 200 *гц* до 10 *кгц*.

Сопротивление изоляции между первичными и вторичными обмотками трансформаторов не менее 100 *Мом*; изоляция выдерживает без пробоя и поверхностного перекрытия напряжение постоянного тока 100 *в*.

Согласующие трансформаторы ММТС-1—ММТС-7 установлены на керамических платах стандартных размеров, в то время как трансформаторы ММТС-8—ММТС-13 оформлены в виде самостоятельного микромодуля с размерами 11×18×20 *мм*. Конструкции микромодульных согласующих трансформаторов ММТС показаны на рис. 12, их электрические схемы и цоколевка приведены на рис. 13.

Для использования в импульсных схемах разработаны микромодульные импульсные трансформаторы ММТИ с ферритовыми и пермаллоевыми сердечниками. Ферритовые трансформаторы ММТИ-2—ММТИ-13 изготовляются 12 типов и предназначены для работы в интервале температур от —60 до +70 °С. Пермаллоевые импульсные трансформаторы изготавливаются 146 типов на длительности импульсов от 0,05 до 10 *мксек* и предназначены для эксплуатации в интервале температур от —60 до +85 °С. Трансформаторы имеют обозначения от ММТИ-20 до ММТИ-166 и выполняются двух-, трех- и четырехобмоточными. Конструкция трансформатора ММТИ показана на рис. 12.

Глава вторая

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ МИКРОМОДУЛЬНЫХ РАДИОСХЕМ

Разделение электронной схемы на модули

Процесс создания микромодульной радиоэлектронной аппаратуры разделяется на несколько характерных этапов. После выбора или разработки принципиальной схемы конструируемого электронного аппарата необходимо провести детальный анализ схемы и разделить ее на отдельные узлы, каждый из которых впоследствии будет представлять собой законченный микромодуль. Для правильного разделения схемы на модули следует руководствоваться определенными конструктивными критериями. Эти критерии являются отражением специфики микромодульного метода конструирования электронной аппаратуры.

Разделение схемы стараются проводить таким образом, чтобы в каждом микромодуле была заключена часть схемы, выполняющая определенную законченную функцию: каскад усиления, эмиттерный повторитель, генератор, инвертор, смеситель, детектор, схема АРУ и т. п. Это позволит осуществлять индивидуальную настройку и

контроль параметров каждого микромодуля. Кроме того, такое разделение на функциональные модули дает возможность унифицировать микромодули. Имея набор различных микромодулей, можно легко и быстро составлять электронную схему любого класса. Если в собранной схеме не удовлетворяет какой-нибудь каскад, то его можно заменить другим модулем, выполняющим ту же функцию, без коренного изменения конструкции устройства.

Другим критерием разделения схемы на модули является количество узловых точек схемы, которое в одном микромодуле должно быть ограничено определенным числом.

Важными критериями являются также максимально допустимое количество микроэлементов в микромодуле, которое определяется коммутационными возможностями метода, максимально допустимая высота микромодуля, выбираемая из условия достаточной механической прочности микромодуля и крепления его в схеме, допустимое количество разрезов соединительных проводников. Количество разрезов соединительных проводников в микромодуле этажерочного типа строго ограничивается. Общее количество разрезов не должно превышать пяти. На каждой грани микромодуля не допускается выполнять более двух разрезов соединительных проводников.

При разделении схемы на модули необходимо иметь в виду, что мощность, рассеиваемая всеми элементами микромодуля, не должна превышать некоторого значения, определяемого величиной поверхности охлаждения микромодуля и максимальной рабочей температурой входящих в него элементов.

Наряду с перечисленными критериями при выборе электрической схемы микромодуля следует руководствоваться также некоторыми общими принципами. Во всех случаях лучшим считается тот микромодуль, который может найти наиболее широкое применение в различных классах аппаратуры и различных частях приемного и передающего трактов, т. е. наиболее универсальный. Однако нельзя добиваться универсальности ценой ухудшения параметров схемы, потери ею стабильности и т. п. При разработке схемы микромодуля необходимо руководствоваться также принципом ремонтоспособности. Невозможность ремонта собственно микромодулей, которые залиты компаундом и герметизированы, не исключает необходимости ремонта микромодульной аппаратуры в целом. Обычно ремонт микромодульной аппаратуры сводится к замене поврежденного микромодуля однотипным. Поэтому при разработке схемы модуля следует предусмотреть контрольные точки, по которым простыми измерениями выявляется микромодуль, вышедший из строя.

Составление монтажной схемы микромодуля

После того как принципиальная схема электронного устройства разделена на микромодули и, таким образом, становятся известными электрические схемы микромодулей, приступают к раскладке электрической схемы, т. е. к составлению монтажной схемы микромодуля. Сложности в компоновке этажерочных микромодулей главным образом обусловлены тем, что каждая микроплата, входящая в микромодуль, распаивается на все 12 пазов к вертикальным соединительным проводникам, концы которых служат выводами микромодуля, причем большинство соединительных проводников проходит на всю высоту микромодуля без разрезов. При составлении схемы сборки определяют взаимное расположение микроэлементов, положе-

Таблица 1

Таблица сочетаний микроэлементов

Номера выводов	2	3	4	5	6	7
1	1-2Н0°	1-3Н0°	1-4Н0°	1-5Н0°	1-6Н0°	1-7Н0°
2		1-2П90°	1-11Н90°	2-5Н0°	1-5П180°	1-8Н180°
3			1-12Н90°	1-11П90°	1-4П180°	1-9Н180°
4				1-2Н90°	1-3Н90°	1-4Н90°
5					1-2П180°	1-11Н180°
6						1-12Н180°
7						
8						
9						
10						
11						

Продолжение табл. 1

Номера выводов	8	9	10	11	12
1	1-8Н0°	1-9Н0°	1-4Н270°	1-11Н0°	1-12Н0°
2	2-8Н0°	1-8П270°	1-5Н270°	2-5П90°	1-11П0°
3	1-8П90°	1-7П90°	1-6П90°	1-5П90°	1-4П90°
4	1-5Н90°	1-6Н90°	1-7Н90°	1-8Н90°	1-9Н90°
5	2-5Н90°	1-5П270°	1-8Н270°	2-8Н90°	1-8П0°
6	1-11П180°	1-4П270°	1-9Н-270°	1-8П180°	1-7П0°
7	1-2Н180°	1-3Н180°	1-44180°	1-5Н180°	1-6Н180°
8		1-2П270°	1-11Н270°	2-5Н180°	1-5П0°
9			1-12Н270°	1-11П270°	1-4П0°
10				1-2Н270°	1-3Н270°
11					1-2П0°

ние микроэлементов в микромодуле, места соединения выводов (пазов) микроэлементов с соединительными проводниками микромодуля, места разрезов соединительных проводников и положение плат-перемычек. При составлении монтажной схемы микромодуля необходимо помнить, что каждый микроэлемент имеет строго определенную цоколевку. Выводы резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности соединяются с одной из следующих пар пазов: 1-4, 1-5, 1-8. Выводы микродиодов присоединяют следующим образом: положительный — к пазу 1, отрицательный — к пазу 6 или к пазу 4; в некоторых случаях положительный вывод подключают к пазу 2, а от-

рицательный — к пазу 5. Цоколевка всех микротранзисторов одинакова: 1 (база) — 5 (эмиттер) — 8 (коллектор).

В некоторых случаях не удается реализовать необходимую схему без применения плат-перемычек, которые замыкают определенные пазы. Платы с перемычками могут иметь одну из следующих цоколевок: 1-2, 1-9, 1-11, 1-12, 2-5, 2-8. Во всех случаях нумерация пазов производится по часовой стрелке от ключа платы, находящейся в нормальном положении.

Таблица 2

Положения микрорезисторов, конденсаторов и катушек индуктивности при различной ориентации микроплаты

Угол поворота микроплаты	Варианты подключения микроэлементов		
	I	II	III
Нормальное положение микроплаты			
0°	1—4	1—5	1—8
90°	4—7	4—8	4—11
180°	7—10	7—11	7—2
270°	10—1	10—2	10—5
Перевернутое положение микроплаты			
0°	12—9	12—8	12—5
90°	3—12	3—11	3—8
180°	6—3	6—2	6—11
270°	9—6	9—5	9—2

Нужное расположение микроэлементов в микромодуле друг относительно друга достигается за счет поворота микроплаты в горизонтальной плоскости вокруг собственной оси на 90, 180, 270 и 360°. При этом в зависимости от того, с какими пазами необходимо осуществить соединение, микроэлемент может располагаться либо в нормальном, либо в перевернутом положении. Нормальным считается такое положение микроэлемента, при котором ключ находится в крайнем верхнем левом положении и большая сторона его расположена горизонтально.

Для быстрого соединения микроэлементов в соответствии с принципиальной схемой модуля на практике пользуются таблицей сочетаний микроэлементов (табл. 1). В ней приняты следующие обозначения: Н — нормальное положение микроэлемента; П — перевернутое положение микроэлемента; 0, 90, 180, 270° — углы поворота микроэлемента вокруг вертикальной оси в горизонтальной плоскости. В пересечении соответствующей графы и столбца указываются необходимая цоколевка и положение микроплаты.

Предположим, что при раскладке схемы между пазами 6 и 11 необходимо включить резистор. По таблице на пересечении 6-й строки с 11-м столбцом находим «1-8 П180°». Это означает, что нужно взять резистор с цоколевкой 1-8, при сборке модуля элемент должен находиться в перевернутом положении, вокруг вертикальной оси микроэлемент должен быть повернут на 180°.

Таблица 3

Положения микродиодов при различной ориентации микроплаты

Угол поворота микроплаты	Варианты подключения микроэлементов	
	I	II
Нормальное положение микроплаты		
0°	1—6	2—5
90°	4—9	5—8
180°	7—12	5—11
270°	10—3	11—2
Перевернутое положение микроплаты		
0°	12—7	11—8
90°	3—10	2—11
180°	6—1	5—2
270°	9—4	8—5

Если необходимо впаять резистор между пазами 6 и 12, то, как следует из табл. 1, нужна цоколевка 1-7. Такой цоколевки для резисторов не существует. Поэтому нужно взять резистор с цоколевкой 1-8, обеспечивающей соединение пазов 6 и 11, и добавить плату с перемычкой, которая должна соединять пазы 11 и 12. Из табл. 1 следует, что для этого подходит плата-перемычка с цоколевкой 1-2, находящаяся в перевернутом положении. Положения различных микроэлементов при повороте микроплаты приведены в табл. 2, 3 и 4.

Таблица 4

Положения микротранзисторов при различной ориентации микроплаты

Угол поворота микроплаты	Варианты подключения микроэлемента		
	База	Коллектор	Эмиттер
Нормальное положение микроплаты			
0°	1	8	5
90°	4	11	8
180°	7	2	11
270°	10	5	2
Перевернутое положение микроплаты			
0°	12	5	8
90°	3	8	11
180°	6	11	2
270°	9	2	5

Рассмотрим в качестве примера раскладку модуля, схема которого показана на рис. 14. У него пять выводов: *А* и *Б* — для присоединения ферритовой антенны, *В* и *Д* — для подключения источника питания, *Г* — для соединения со следующим модулем.

Для составления монтажной схемы нужно начертить квадрат с обозначением пазов (рис. 14) и разметить расположение выводов на его сторонах: *А* и *Б* — на стороне пазов *1-3*, *В* — *10-12*, *Г* — *7-9*, *Д* — *4-6*. Отмечаем на рис. 14 разводку микротранзистора *1-5-8*. Над обозначениями выводов микротранзистора записываем в соответствии с принципиальной схемой обозначения элементов, соединяющихся с этими выводами. Микрорезистор R_1 на схеме включен меж-

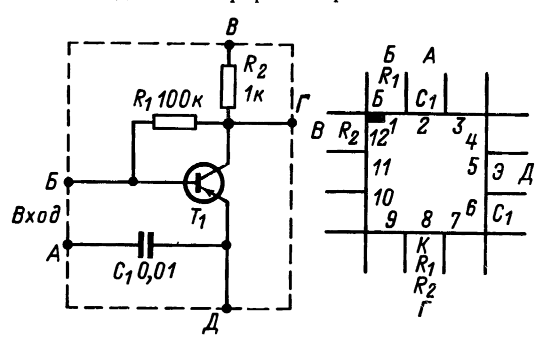


Рис. 14. Принципиальная схема входного модуля приемника прямого усиления (*а*) и ее раскладка (*б*).

ду базой и коллектором микротранзистора. Для того чтобы обеспечить такое соединение, нужно использовать резистор с цоколевкой *1-8*. Микрорезистор R_2 можно соединить с пазами *8* и *12* в случае применения микрорезистора с цоколевкой *1-5* в перевернутом положении. В связи с тем, что цоколевка конденсаторов *2-5* не допускается, нужно использовать конденсатор с цоколевкой *1-5* в перевернутом положении и повернутый на 180°. При этом выводы конденсатора будут соединены с выводами *2* и *6*. Значит, надо использовать плату с перемычкой между пазами *5* и *6*. Эта плата должна иметь цоколевку *1-2* и должна быть установлена в перевернутом положении повернутой на 180°.

Результаты, полученные при раскладке электрической схемы микромодуля, после дополнительной обработки заносятся в сборочный чертеж микромодуля в виде таблицы, называемой схемой сборки. Горизонтальные линии схемы сборки соответствуют соединительным проводникам и нумеруются в соответствии с нумерацией пазов опорного микроэлемента. В случае разреза соединительного проводника горизонтальная линия разрывается. На рис. 15 показана типовая схема сборки микромодуля.

Микроэлементы и платы с перемычками записываются в столбцах схемы в соответствии с выбранной цоколевкой в виде контурных линий, оканчивающихся окружностями. Число заполненных столбцов таблицы равно числу микроэлементов в данном микромодуле. Полярность или условные обозначения выводов микроэлементов указываются около соответствующих точек на схеме сборки: начало *н* и конец *к* каждой обмотки для трансформаторов, поляр-

ности + и — для диодов и некоторых типов конденсаторов, база *б*, эмиттер *э* и коллектор *к* для транзисторов.

Выводы микромодулей также имеют условную нумерацию. Если смотреть на нижний торец микромодуля, отсчет выводов производится по часовой стрелке. При этом выводы, направленные вниз, обозначаются цифрами 1, 2, 3, ..., 12, а выводы, направленные вверх, — цифрами 1′, 2′, 3′, ..., 12′.

Номер позиций		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Схемное обознач. микроэлемента		п	R_5	C_2	R_6	R_4	T_1	C_1	$п_2$	$Тр_1$	R_1	$п_1$	Д	T_2	R_3	п
Цоколевка микроэлемента		—	1-5	1-8	1-8	1-5	1-8-5	1-5	1-4 5-10	5-6 7-9 1-3	1-8	1-5 2-4	1-4	1-8-5	1-4	—
Угол поворота при разном положении микроплаты	Нормальн.	0	270°	—	270°	—	—	90°	—	180°	—	180°	—	—	—	0
	Перевернут	—	—	270°	—	270°	270°	—	180°	—	90°	—	90°	90°	90°	—
Условная нумерация выводов микромодуля	12′ 11′ 10′ 9′ 8′ 7′ 6′ 5′ 4′ 3′ 2′ 1′															12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
Высота микроэлемента, мм, не более		—	0,49	1,8	0,49	0,49	3,5	1,6	0,49	3,8	0,49	0,49	1,3	3,5	0,49	—
Толщина микроплаты с учетом лужения, мм, не более		0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,97	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	1,23	0,97	0,49	0,49

Рис. 15. Пример схемы сборки микромодуля.

Взаимное расположение (последовательность) элементов в составе микромодуля в значительной степени определяется положением разрезов соединительных проводников. Многовыводные элементы, являющиеся опорными при раскладке электрической схемы, обычно располагают в нижней части микромодуля, а элементы, используемые для настройки, — в верхней. Микроэлементы, рассеивающие значительные мощности, должны по возможности равномерно распределяться по высоте микромодуля.

Если толщина плат крайних микроэлементов меньше 1 *мм*, то с верхней и нижней сторон микромодуля устанавливаются свобод-

ные типовые микроплаты. Они вводятся для устранения обрывов проводников от пазов крайних элементов при герметизации микромодулей.

При разработке монтажной схемы микромодуля необходимо учитывать тепловые режимы работы микроэлементов и микромодуля в целом, так как тепловой режим является одним из важнейших факторов, определяющих надежность электронной аппаратуры. Температурный режим микромодуля зависит от мощности, рассеиваемой в объеме микромодуля, и условий охлаждения — перепада температур между поверхностью микромодуля и окружающей средой, плотности и вязкости окружающей среды и т. п. Тепловой поток, распространяющийся в микромодуле от источников тепла (резисторы, полупроводниковые диоды, транзисторы и т. д.), рассеивается его поверхностью и свободной поверхностью выводов в окружающее пространство. В установившемся тепловом режиме разность температур между поверхностью какого-нибудь микроэлемента и окружающей средой

$$t_э - t_с = (R_н + R_{вн}) P_э,$$

где $t_э$ — средняя поверхностная температура рассматриваемого микроэлемента; $P_э$ — рассеиваемая микроэлементом мощность; $R_н$ и $R_{вн}$ — наружное и внутреннее тепловые сопротивления микроэлемента

Наружное тепловое сопротивление $R_н$ определяется геометрическими размерами микромодуля, количеством и длиной выводов. Рассеяние тепла от микромодуля в среду происходит параллельно от поверхности микромодуля в среду и через выводы. При этом

$$\frac{1}{R_н} = \frac{1}{R_с} + \frac{1}{R_в},$$

где $R_с$ — тепловое сопротивление между поверхностью микромодуля и окружающей средой; $R_в$ — тепловое сопротивление между сечением выводов на выходе из микромодуля и окружающей средой.

Значение $R_с$ можно найти из соотношения

$$R_с = \frac{1}{\alpha_в S_в} + \frac{1}{\alpha_н S_н} + \frac{1}{\alpha_в S_б},$$

где $S_в$, $S_н$, $S_б$ — площади верхней, нижней и боковой поверхностей микромодуля; $\alpha_в$, $\alpha_н$, $\alpha_б$ — коэффициенты теплоотдачи для верхней, нижней и боковой поверхностей микромодуля, каждый из которых равен сумме конвективной и лучистой составляющей.

Тепловое сопротивление каждого вывода $R'_в$ зависит от теплопроводности материала выводов, их поперечного сечения и геометрических размеров:

$$R'_в = \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{\alpha \lambda d^3} \, \mathrm{th}\, 2 \sqrt{\frac{\alpha}{\lambda d}} l \right)^{-1},$$

где α, λ, d, l — коэффициенты теплоотдачи и теплопроводности, диаметр и длина выводов соответственно.

Так как общее число выводов микромодуля обычно равно 12, полное тепловое сопротивление выводов

$$R_в = \left[6\pi \sqrt{\alpha \lambda d^3} \, \mathrm{th} \left(2l \sqrt{\frac{\alpha}{\lambda d}} \right) \right]^{-1}.$$

Зависимости наружного теплового сопротивления стандартного микромодуля от его высоты, температуры поверхности и длины выводов показана на рис. 16.

Тепловой поток на пути от микроэлемента к поверхности микромодуля преодолевает внутреннее тепловое сопротивление $R_{вн}$. При изучении тепловых режимов микромодулей целесообразно находить величину $R_{вн}$ лишь для наиболее нагруженных или наименее термостойких микроэлементов. Значение $R_{вн}$ сильно зависит от соотношения размеров источника тепла, т. е. нагретой области микроэлемента, и размеров микромодуля. С увеличением размеров источника тепла, теплопроводности объема микромодуля и при уменьшении размеров микромодуля внутреннее тепловое сопротивление падает.

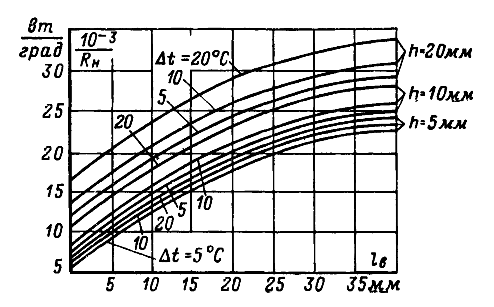


Рис. 16. Наружное тепловое сопротивление стандартного микромодуля в зависимости от его высоты h, длины выводов $l_в$ и температуры перегрева Δt.

Так, внутреннее тепловое сопротивление между ниточным резистором С2-12, расположенным в центре стандартного микромодуля высотой 10 *мм*, и поверхностью микромодуля составляет около 95 *град/вт*, в то время как для пленочного резистора С3-4, имеющего бо́льшие размеры, в тех же условиях внутреннее тепловое сопротивление вдвое меньше.

Аналитический расчет внутреннего теплового сопротивления весьма сложен и носит ориентировочный характер, поэтому в ряде случаев целесообразно находить $R_{вн}$ экспериментальным путем. Один спай термопары закрепляют на поверхности микроэлемента, а второй — на поверхности микромодуля. Тогда

$$R_{вн} = \frac{t_э - t_м}{P_э},$$

где $t_э$ и $t_м$ — средние поверхностные температуры микроэлемента и микромодуля; $P_э$ — мощность, рассеиваемая микроэлементом.

Нахождение оптимального варианта монтажной схемы микромодуля с учетом всех электрических и конструктивных требований, а именно получения схем раскладки с минимальным количеством перемычек и разрезов соединительных проводников и соответствующего расположения микроэлементов для обеспечения наилучшего теплового режима и минимальной высоты микромодуля, является сложной инженерной задачей. В промышленности значительное сокра-

щение трудоемкости конструкторских работ в процессе создания микромодуля достигается путем использования электронных цифровых вычислительных машин. В среднем время, которое затрачивается на один микромодуль при конструировании обычным методом, в 20—30 раз больше, чем в случае использования вычислительных машин. Кроме того, машина обеспечивает более высокое качество конструкции микромодуля. Так, при машинном конструировании в подавляющем большинстве микромодулей или совсем отсутствуют перемычки и разрезы соединительных проводников, или имеются только одна-две перемычки, в то время как большинство микромодулей, сконструированных человеком, содержит один-два разреза и от двух до пяти перемычек.

После составления схемы сборки электрическая схема микромодуля подвергается доработке, которая заключается в перенесении на электрическую схему обозначений соединительных проводников, разрезов и перемычек, указываемых в узловых точках схемы.

Если соединительный проводник не имеет разрезов, то около соответствующей ему узловой точки указывается полное обозначение проводника, например: 1-1, 4-4 и т. д. В случае разреза проводника указывается только одна цифра, определяющая номер вывода, например: 2, 3, 8 и т. д. При наличии перемычки в микромодуле около соответствующей узловой точки проставляются цифры, определяющие номера всех соединяемых перемычкой проводников, например: 2-9, 7-11 и т. п. После этого можно приступать к сборке микромодуля.

Сборка микромодулей

После составления монтажной схемы приступают к сборке микромодуля из микроэлементов на специальных универсальных приспособлениях. Прежде всего необходимые для микромодуля микроэлементы подвергаются всестороннему контролю. Не допускаются такие виды дефектов, как отступление геометрических размеров по периметру и высоте, сколы и трещины на микроплатах, неправильное заполнение пазов припоем, наплывы и замыкание соседних пазов, наличие темных окисленных мест. Микроэлементы проверяют также по основным электрическим параметрам.

Сборку микромодулей осуществляют с помощью специальных гребенок, которые позволяют располагать все микроэлементы и микроплаты в составе микромодуля с шагом, равным 0,25 n, где $n=3, 4, 5 \dots$ (рис. 17). Минимальное расстояние между выступающими частями соседних микроэлементов должно быть не менее 0,2 *мм*. При выборе расстояния между элементами необходимо учитывать возможность возникновения паразитных емкостных связей. Паразитная емкость между соседними микроэлементами в зависимости от шага их расположения приведена в табл. 5.

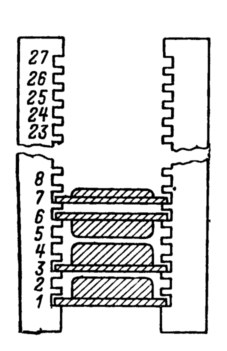


Рис. 17. Гребенка для сборки микромодулей.

После установки всех микроэлементов данного микромодуля в пазы гребенок проводят электрическое соединение элементов. В пазы микроплат помещают луженые соединительные проводники и производят пайку

без дополнительной подачи припоя к местам паек, так как необходимое для механически прочных паек количество припоя содержится в луженых пазах микроэлементов и на поверхности соединительных проводников.

Пайку микромодулей можно производить вручную паяльником или в производственных условиях полуавтоматически с помощью специального приспособления. Соединительные проводники припаивают к микроэлементам кратковременным прогревом проводников с одновременным углублением их в луженые пазы микроэлементов.

Таблица 5

Зависимость паразитной межэлементной емкости от шага установки и расположения микроэлементов в микромодуле

Расположение микроэлементов в микромодуле	Шаг сборки *t*, *мм*	Емкость между микроэлементами, *пф*	
		до герметизации	после герметизации
	0,75 1,5 3,0	1,755 1,455 1,450	3,62 2,73 2,34
	0,75 1,5 3,0	1,635 1,38 1,30	3,08 2,36 2,02
	0,75 1,5 3,0	1,435 1,310 1,265	2,81 2,41 1,91

При пайке применяют некоррозионный флюс, который наносится кисточкой на соединительные проводники и не требует последующей промывки этажерки. После пайки соединительные проводники обрезают под определенный размер. Затем при помощи специальных кусачек в соответствии с монтажной схемой проводится разрезка соединительных проводников. Не допускается выполнять разрезы между крайними микроплатами. В точке разреза, расстояние между

микроплатами должно быть не менее 1 *мм*. Удобно выполнять разрезы в месте установки крупных микроэлементов — транзисторов, катушек индуктивности, трансформаторов и др. Ширина вырезанного участка проводника берется обычно не менее 0,2 *мм*.

Для увеличения механической прочности микромодулей и защиты микроэлементов от воздействия внешней среды этажерку с микроэлементами герметизируют. Герметизацию микромодулей осуществляют различными способами. Сборка микроэлементов может заливаться эпоксидным компаундом, после отверждения которого обеспечиваются достаточная жесткость и устойчивость микромодуля к различным внешним воздействиям. Применение компаундов позволяет обеспечить защиту микроэлементов в условиях повышенной влажности (98%) при температуре +40 °С.

К компаунду, используемому для заливки микромодулей, предъявляется ряд требований. Компаунд должен обеспечивать хорошее заполнение заданных объемов, достаточную механическую прочность в полимеризованном состоянии, минимальную водопоглощаемость, высокую электрическую прочность, обладать высокими нагревостойкостью и термостойкостью, при отверждении иметь малую усадку.

Наибольшее применение нашли компаунды на основе эпоксидных смол с добавкой пылевидного кварца, молотой слюды и отвердителей. Каждый из компонентов компаунда играет определенную роль в формировании исходных свойств компаунда. Отвердитель вызывает процесс необратимого отверждения эпоксидной смолы. Пылевидный кварц и слюда ослабляют внутренние напряжения, которые возникают вследствие разности значений коэффициентов линейного расширения деталей микромодуля и компаунда.

Для герметизации микромодулей используют заливочные формы. Перед заливкой детали формы очищают от остатков компаунда предыдущей заливки и насухо протирают. Для предотвращения прилипания компаунда рабочие поверхности формы смазывают специальным составом, и после этого собранную форму в течение 2—3 *ч* прогревают в термостате.

Защиту выводов микромодулей и оформление торцов при заливке производят с помощью специальных насадок. Применяют резиновые насадки однократного и металлические и пластмассовые многократного использования.

Микромодули, помещенные в форме с надетыми насадками, высушивают в термостате при температуре около 70 °С в течение 2—3 *ч* для просушки микроэлементов. Заливку компаунда в формы можно производить вручную с помощью бумажных мерных конусов.

После полимеризации компаунда при повышенной температуре формы с микромодулями извлекают из термостата, охлаждают до комнатной температуры и разбирают. Извлеченный из формы микромодуль промывают; при наличии на поверхности микромодуля раковин диаметром более 0,8 *мм* поверхность микромодуля зачищают, обезжиривают и раковины снова заполняют компаундом. После полимеризации исправленные места зачищают. Корпус выпускаемых микромодулей представляет собой параллелепипед с основанием 11×11 и высотой от 5 до 25 *мм*.

Для определения цоколевки микромодуля при сборке микроэлементов в этажерку выводы 1, 2 и 3 укорачивают на 1 *мм*. Ориентируясь по укороченным выводам, герметизированные микромодули маркируют, т. е. краской наносят шифр микромодуля, дату изго-

товления, товарный знак завода-изготовителя и обозначение первого вывода в виде черточки или точки (рис. 18,*а*).

Другим способом герметизации является капсулирование в металлическом корпусе. Капсулирование микромодулей обеспечивает более надежную защиту микроэлементов от воздействия окружающей среды, а также экранирует микромодуль.

Для капсулирования применяют алюминиевые капсулы, получаемые методом ударной штамповки. Этажерка микроэлементов в специальных формах предварительно заливается пенопластом. Залитый микромодуль помещается в капсулу и герметизируется с торца. Обычно герметизация выполняется путем заливки торца капсулы

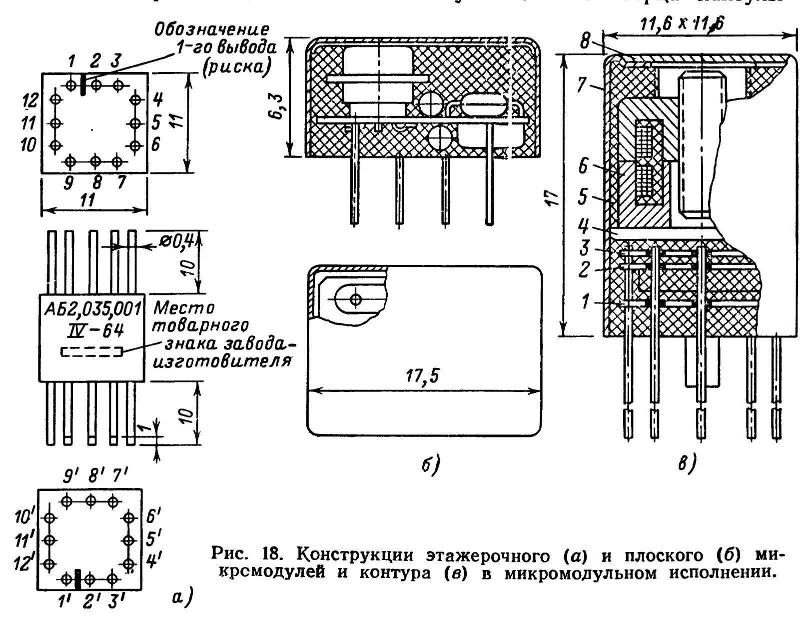


Рис. 18. Конструкции этажерочного (*а*) и плоского (*б*) микромодулей и контура (*в*) в микромодульном исполнении.

эпоксидным компаундом или с помощью специальной керамической крышки, отверстия и кромки которой металлизированы. Выводы микромодуля пропускаются в отверстия крышки и опаиваются. Крышка соединяется с капсулой путем пайки по периметру. Соединительные проводники после герметизации выводятся с одной стороны микромодуля на длину 10 *мм*.

Следует отметить, что частозависимые элементы (контуры) выносятся из микромодулей и выполняются в виде отдельной конструкции (рис. 18,*в*). Микромодульный контур изготовляют в такой последовательности. Катушку с сердечником *6* помещают в корпус *5* и закрывают основанием *4*, сквозь основание пропускают выводы и распаивают на плате *3*. Из катушки, распаянной на микроплате, контурных конденсаторов *2*, конденсатора связи и концевой платы *1* собирают этажерку, которая вставляется в экран *7*, затем со стороны заглушки *8* в резьбу экрана вкручивают технологическую пробку, которая плотно прижимает корпус к экрану. Затем снизу

экран заливают эпоксидным компаундом. Микромодульные контуры с сердечниками СБ-9а и СБ-9Б предназначены для работы в диапазоне частот 0,2—70 *Мгц* при температуре окружающей среды —60÷+85 °С.

Процесс сборки плоских микромодулей сильно отличается от сборки этажерочных микромодулей. Плоский микромодуль обычно представляет собой законченный узел радиоэлектронной аппаратуры, выполненный из миниатюрных радиодеталей, смонтированных с одной или двух сторон печатной платы и защищенный от внешних воздействий металлическим колпачком с заливкой (рис. 18,*б*). Все плоские микромодули имеют одинаковую ширину: 17,5 *мм*; высота и длина могут изменяться в зависимости от количества и характеристик элементов, входящих в плоский микромодуль. При этом длина увеличивается через 4 *мм,* начиная с 9,5 *мм,* т. е. 9,5; 13,5; 17,5; 21.5 и т. д., а высота, как правило, равна 6,3 *мм*, хотя в отдельных случаях возможно изготовление микромодулей высотой 5,3 и 4,3 *мм.* Выводы микромодулей выполняются из жесткого провода и располагаются в узлах 4-миллиметровой координатной сетки.

Изготовление плоских микромодулей начинается с изготовления печатных плат. После сверления отверстий в заготовке из гетинакса или стеклотекстолита по соответствующему чертежу выполняется химическое меднение поверхности пластика. Нанесение рисунка печатной схемы осуществляется методом фотопечати на желатиновой эмульсии; печать ведется с группового диапозитива, выполненного на стекле. Затем производится гальваническое наращивание слоя меди толщиной 30 *мкм* в сернокислом электролите. Резка печатной заготовки на отдельные платы производится на гильотинных ножницах с последующей вырубкой по контуру на специальных штампах.

После изготовления печатной платы производятся установка и расклепка выводов, а также облуживание контактных площадок припоем ПОС-61. Монтаж микроэлементов на печатной плате осуществляется вручную методом пайки припоем или склеиванием контактолом (проводящим клеем) марки К-1. Проводящие клеи получают на основе эпоксидной смолы и мелкозернистых металлических порошков (серебра, меди и пр.).

Затем собранные и проверенные микромодули устанавливаются в колпачок, заливаются компаундом и маркируются.

Плоские микромодули имеют более высокую плотность монтажа и меньшие паразитные емкости благодаря установке элементов на одной плоскости. Однако плоские микромодули имеют недостаточную надежность электрических соединений вследствие использования контактола, а также недостаточно технологичны при производстве.

Конструирование микромодульных блоков

Для выполнения электронной аппаратуры в микромодульном варианте необходимые микромодули соединяются электрически в соответствии с принципиальной схемой электронного устройства. Для реализации схемы в малых габаритах, обеспечения возможности контроля параметров и простого ремонта аппаратуры целесообразно микромодули объединять в блоки, из которых собирается устройство.

Микромодульный метод конструирования вносит ряд особенностей в проектирование блоков электронной аппаратуры. В отличие

от блоков с навесным монтажом в микромодульных блоках наименьшей конструктивной единицей становится микромодуль, а не отдельный электронный компонент. Однообразие формы микромодулей позволяет устанавливать их с минимальными промежутками, чем достигается высокая плотность компоновки. Кроме того, значительная часть схемных электрических соединений осуществлена внутри самого микромодуля. Это ведет к сокращению объема, занимаемого коммутацией, что в конечном счете приводит к дальнейшему повышению плотности заполнения объема электронной аппаратуры.

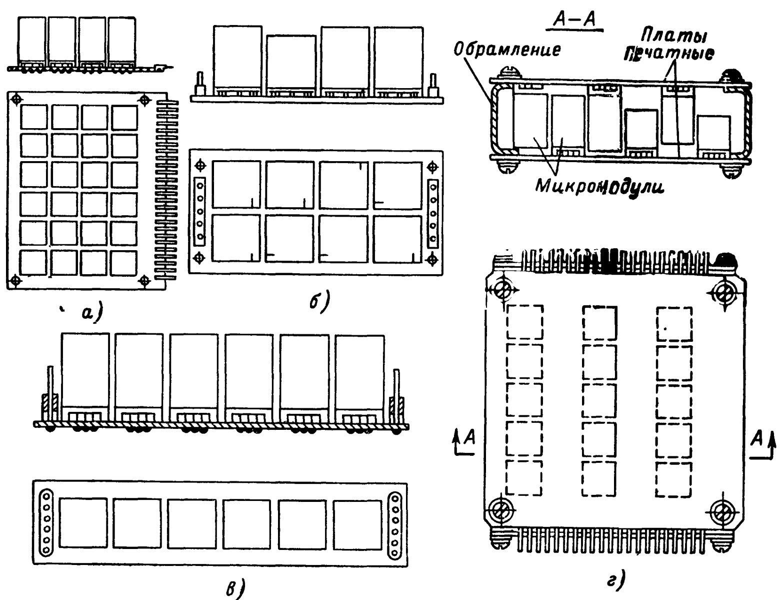


Рис. 19. Методы компоновки микромодулей в блоки.
а — сплошной; *б* — двухрядный; *в* — однорядный; *г* — многорядный.

Повышение плотности компоновки в микромодульных блоках и тепловая экранировка микроэлементов герметизирующим компаундом с малой теплопроводностью вызывают необходимость при конструировании блоков предусматривать эффективный отвод тепла как от каждого микромодуля в отдельности, так и от микромодульного блока в целом. Этим в значительной степени определяется способ установки микромодулей в блоке (рис. 19).

В микромодульной радиоэлектронной аппаратуре, как правило, нет возможности применять принудительное воздушное или жидкостное охлаждение и затруднено использование радиаторов. Поэтому борьба с перегревами ведется в основном рациональным размещением микромодулей, обеспечивающим наилучшие условия теплообмена. При конструировании микромодульных блоков рекомендуется микромодули, рассеивающие наибольшее количество тепловой энергии, располагать по углам блоков или по их периферии, теплоотдающие поверхности покрывать краской или лаком с высокой сте-

пенью черноты, что позволяет понизить температуру нагретой зоны на 15—20%, выводы микромодулей с наибольшими мощностями рассеяния обеспечивать контактными площадками с максимальной возможной поверхностью, так как значительная часть тепловой энергии распространяется вдоль выводов.

Для расчета естественного воздушного охлаждения задаются мощность рассеяния микромодулей, допустимые температуры микроэлементов, входящих в состав микромодулей, габариты и компоновка блока, температура и давление окружающего воздуха. Среднеобъемную температуру микромодуля при центральном $t_ц$ и угловом $t_у$ расположениях в блоке можно определить из зависимостей на рис. 20.

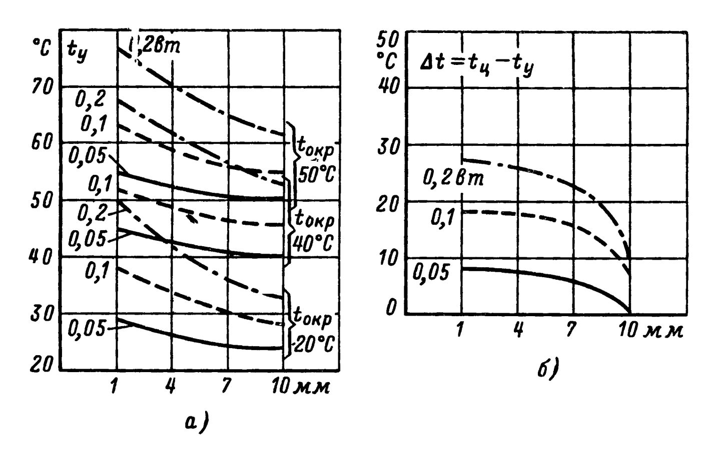


Рис. 20. Температурные режимы микромодулей.
а — среднеобъемная температура углового микромодуля; *б* — температура перегрева центрального микромодуля по отношению к угловому.

При конструировании микромодульной аппаратуры, исходя из значений температуры окружающей среды и мощности рассеяния микромодулей, задаются некоторой величиной шага их установки. Затем из зависимостей, показанных на рис. 20, определяют среднеобъемную температуру микромодуля. Если полученное значение температуры превышает допустимую величину, то расчет повторяют для большего шага установки микромодулей.

Наибольшую плотность заполнения дает применение сплошной установки микромодулей с шагом, обеспечивающим зазор 1,5 *мм*. Однако такая конструкция является практически неремонтоспособной из-за трудности замены поврежденного микромодуля.

Наиболее широкое распространение получил метод многорядной компоновки микромодулей на плате. В этом случае микромодули устанавливаются на платы рядами или в шахматном порядке. При соединении двух плат микромодули, расположенные на одной плате, размещаются в зазоре между рядами микромодулей, установленных на второй плате. Такая конструкция обеспечивает высокую плотность заполнения, достаточно хорошую ремонтоспособность и позво-

ляет значительно упростить разводку печатного монтажа за счет увеличения площади печатных плат.

В отдельных случаях в блоках применяется установка микромодулей в один ряд. Такая конструкция дает значительные потери в плотности заполнения и применяется лишь в отдельных случаях в узлах, предназначенных для работы в высокочастотных цепях, где требуется разнесение микромодулей для защиты от помех. При конструировании микромодульных блоков части схемы, требующие экранировки, следует выделять в отдельные сборки с последующей общей экранировкой или выполнять в виде капсулированных микромодулей, конструкция которых обеспечивает высококачественное экранирование.

При небольшом количестве модулей в схеме целесообразно применять метод двухрядной компоновки микромодулей, обеспечивающий относительно высокую плотность заполнения и хорошую ремонтоспособность схемы.

В микромодульной аппаратуре наиболее широкое распространение получила вертикальная установка микромодулей на печатной плате. Этот метод обеспечивает простое и вместе с тем надежное соединение выводов микромодуля с контактными площадками печатной схемы. Однако выпускаемые промышленностью микромодули имеют высоту от 10 до 25 *мм* и в отдельных случаях разновысотность микромодулей не позволяет реализовать высокую плотность монтажа при конструировании блоков. Некоторый выигрыш по объему микроблока в этом случае может дать горизонтальная установка микромодулей на печатных платах. Горизонтальная установка удобна, когда применяются микромодули с небольшим количеством выводов (не более 6—8). При монтаже выводы загибаются и вводятся в соответствующие отверстия печатной платы. При горизонтальной установке микромодулей целесообразно использовать как верхние (1′—12′) так и нижние (1—12) выводы, которые могут быть расположены в один ряд с каждой стороны микромодуля.

Опыт применения микромодулей показывает, что наиболее рациональным методом соединения микромодулей в узлах и блоках является печатный монтаж. Обычно для этой цели применяются печатные платы толщиной от 0,8 до 2 *мм*. Печатную схему получают фотохимическим методом путем копирования изображения проводников с негатива на фольгированное основание, покрытое светочувствительным слоем, с последующим травлением незащищенных участков. Для присоединения выводов модулей в печатной плате по шаблону сверлятся отверстия, которые используются и для механического крепления устанавливаемых элементов.

Для микромодульной аппаратуры, имеющей сложные электрические связи, разводка печатной схемы с использованием одного слоя (так как все печатные проводники расположены на одной стороне платы) весьма затруднена. Поэтому при изготовлении плат в качестве исходного материала широко используется двусторонний фольгированный диэлектрик. Для печатных плат с двухслойной разводкой рекомендуется использовать фольгированный стеклотекстолит марки СФ-2 толщиной 0,8—2 *мм* и низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД-180-2 толщиной 1,5—2 *мм*, для печатных плат с однослойной разводкой — фольгированный стеклотекстолит СФ-1 и низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД-180-1 толщиной 0,8—2 *мм*. В любительской аппаратуре можно использовать также материалы других марок.

При конструировании печатных плат важно знать разрешающую способность печатного монтажа. В свободных местах на плате рекомендуется делать ширину проводников равной 1,5 *мм* и расстояние между ними не менее 0,8 *мм*, в узких местах ширина проводников должна быть не менее 0,4 *мм*, а минимальное расстояние между ними 0,3 *мм*.

Печатные проводники не должны иметь резких переходов от широкой части к узкой, потому что такие переходы и острые углы снижают механическую прочность сцепления токопроводящего покрытия с электроизоляционным основанием и при механической обработке платы или нагреве во время пайки они могут стать причиной отслаивания печатного проводника от основания. Контактные площадки выполняются более широкими и имеют произвольную форму. Принято, чтобы центры по крайней мере двух монтажных отверстий под выводы микромодулей располагались в узлах координатной сетки с шагом 2,5 *мм*.

При проектировании печатных плат необходимо учитывать распределение магнитных и электрических полей печатных проводников и принимать меры к уменьшению паразитных связей. Общие рекомендации по этому вопросу сделать трудно, так как их выбор зависит от вида электрической схемы. Можно указать следующие меры: не следует прокладывать проводники, по которым протекают высокочастотные токи, параллельно; это справедливо и для одностороннего и для двустороннего монтажа; детали на печатной плате целесообразно размещать так, чтобы длина проводников по которым протекают высокочастотные токи, была минимальной, а расстояние между проводниками — максимальным.

Микромодули устанавливаются на печатную плату с шагом, кратным шагу координатной сетки (2,5 мм), с учетом обеспечения заданных тепловых режимов. Обычно применяется шаг установки, равный 12,5 *мм*. Между печатной платой и микромодулем предусматривается зазор, равный 1,5—2 *мм*, необходимый для прохождения лака при лакировке, которой подвергаются печатные платы. На платы с односторонним печатным монтажом микромодули можно устанавливать без зазора.

При установке микромодулей на печатных платах рекомендуется распаивать все 12 выводов. Верхние выводы микромодулей, установленных вертикально на печатную плату, подрезаются до высоты 0,5 *мм* от торца и изолируются компаундом.

В силу однотипности самих микромодулей и единообразия блоков особое внимание необходимо уделять вопросу маркировки и ключевых устройств, съемные элементы микромодульной аппаратуры должны иметь специальные конструктивные элементы, предотвращающие их неправильную установку и включение. Кроме маркировки узлов и блоков, необходимо вводить маркировку, однозначно определяющую положение микромодуля, установленного на печатной плате. Монтажное отверстие, соответствующее первому выводу микромодуля, принято маркировать путем изготовления контактной площадки специальной формы при получении печатной платы. Обычно контактная площадка, соответствующая первому выводу микромодуля, снабжена «усиком» длиной от 1 до 4 и шириной 0,5 *мм*, который может быть произвольно ориентирован на печатной плате.

Для соединения узлов и блоков микромодульной аппаратуры можно использовать объемный монтаж, колодки и разъемы. Применение объемного монтажа приводит к значительным потерям

в объеме, поэтому в большинстве случаев используются переходные колодки. Внешние электрические соединения блоков и устройств, как правило, осуществляется с помощью разъемов.

Современные микромодули позволяют уменьшить объем и вес радиоэлектронных блоков в среднем в 5 раз по сравнению с конструкциями, выполненными с применением миниатюрных компонентов и печатного монтажа. Наибольший эффект от применения микромодулей достигается в схемах с большим числом однотипных каскадов — вычислительных устройств и т. п. Для приемно-усилительной аппаратуры эффект от применения микромодулей несколько снижается за счет потери объема на крупногабаритные детали, характерные для этих устройств. И поэтому уменьшение объема и веса микромодульной приемно-усилительной аппаратуры несколько меньше: в 2—2,5 раза.

Глава третья

МИКРОМОДУЛЬНЫЕ РАДИОСХЕМЫ

Микромодули радиоконструкторов

Широкий класс микромодульных радиосхем от простейших усилителей до сложных супергетеродинных приемников можно собрать, используя микромодули, входящие в радиоконструкторы, выпускаемые отечественной промышленностью. Рассмотрим микромодули, входящие в радиоконструктор [Л. 2].

Схемы основных микромодулей конструктора приведены на рис. 21.

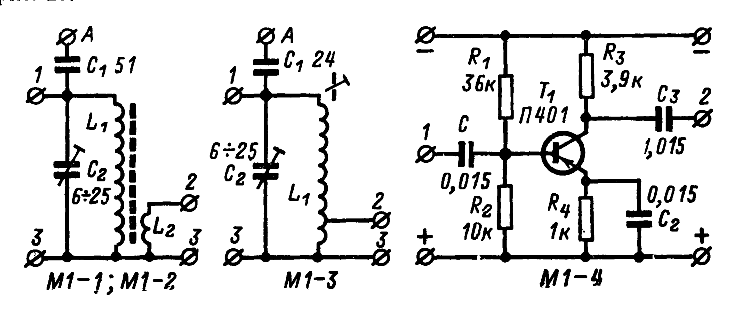


Рис. 21. Схемы микромодулей М1-1—М1-4.

Микромодуль М1-1 (рис. 21) представляет собой магнитную антенну для приема радиостанций, работающих в диапазоне 600—2 000 *м*. Катушки L_1 и L_2 намотаны на ферритовых стержнях Ф600 и Ф1000 *мм*. Конденсатор C_1 служит для подключения к приемнику внешней антенны с целью увеличения чувствительности; конденсатор C_2 предназначен для подстройки входного контура приемника в начале диапазона длинных волн (600—700 *м*). Катушка L_1 является резонансным контуром; катушка L_2 предназначена для связи входного контура с последующим модулем приемника. Катушки намотаны проводом ПЭВ-2×0,16 (L_1 — 200 витков; длина провода 60 *мм*; L_2 — 20 витков; длина провода 5 *мм*). Передвигая катушки L_1 и

L_2 по ферритовому стержню, подбирают их оптимальное положение, при котором чувствительность и избирательность приемника будут наибольшими.

Микромодуль М1-2 аналогичен микромодулю М1-1 и представляет собой магнитную антенну для приема станций средневолнового диапазона (200—600 *м*). Катушка L_1 намотана проводом ЛЭШО 16×0,07 (70 витков), катушка L_2 — проводом ПЭВ-2×0,16 (6 витков).

Микромодуль М1-3 является входным контуром для коротких волн (19—51 *м*). Катушка L_1, выполняемая из посеребренного провода (диаметр 0,8 *мм*; шаг намотки 1,2 *мм*) на каркасе диаметром 16 *мм*, содержит 13 витков с отводом от середины второго витка. Отвод служит для согласования контура с последующим микромодулем. Используется данный микромодуль при сборке супергетеродинных радиоприемников.

Микромодуль М1-4 служит усилителем высокой частоты (рис. 21). Резисторы R_1, R_2 и R_4 предназначены для стабилизации рабочего режима транзистора T_1.

Коэффициент усиления каскада по напряжению зависит от коэффициента β транзистора (чем больше коэффициент β и ниже частота усиливаемого сигнала, тем больше коэффициент усиления). Так, при использовании модуля в приемниках, работающих на средних и длинных волнах, коэффициент усиления каскада по напряжению находится в пределах 10—50, а на коротких волнах он равен 2—3. Для повышения коэффициента усиления в диапазоне коротких волн следует применять в модуле высокочастотные транзисторы с коэффициентом β не менее 60—100 (П415, П417, П418, ГТ309, ГТ310 и т. п.).

Микромодуль М1-5 (рис. 22) отличается от М1-4 отсутствием выходного конденсатора C_3, что позволяет выполнять многокаскадные усилители высокой частоты на резисторах с непосредственной связью. Чтобы избежать самовозбуждения, в таких усилителях применяют специальные развязывающие фильтры.

Микромодуль М1-6 — усилитель высокой частоты, в котором нагрузкой является высокочастотный дроссель $Др_1$, что позволяет получить более высокий коэффициент усиления модуля по напряжению на длинных и средних волнах. Резистор R_3 позволяет расширить полосу пропускания усилителя в диапазоне 150—1 500 *кгц*.

Микромодуль М1-7 отличается от М1-6 отсутствием выходного конденсатора. Это позволяет собирать многокаскадные высокочастотные усилители.

Микромодуль М1-8 — усилитель высокой частоты, в котором коллекторной нагрузкой является обмотка трансформатора $Тр_1$. Такой модуль обеспечивает высокий коэффициент усиления на частотах 150—1 500 *кгц* за счет лучшего согласования с последующим каскадом.

Микромодуль М1-9 — эмиттерный повторитель с большим входным и малым выходным сопротивлениями. Предназначен для согласования микромодулей, имеющих различные входные и выходные сопротивления.

Микромодуль М2-10 — детекторный каскад. Нагрузкой детектора служит резистор R_1, которым регулируют напряжение низкочастотного сигнала, подаваемого на вход усилителя низкой частоты. К контакту *3* подключается цепь АРУ приемника, позволяющая производить прием дальних и близких радиостанций с одинаковой громкостью.

Микромодуль М2-11 является регулятором громкости усилителей низкой частоты.

Микромодули М3-12 и М3-13 — предварительные каскады усиления низкой частоты. В микромодуле М3-13 отсутствует выходной конденсатор, что позволяет собирать многокаскадные низкочастотные усилители. В данных модулях могут быть использованы транзисторы МП13—МП15 и МП40—МП42.

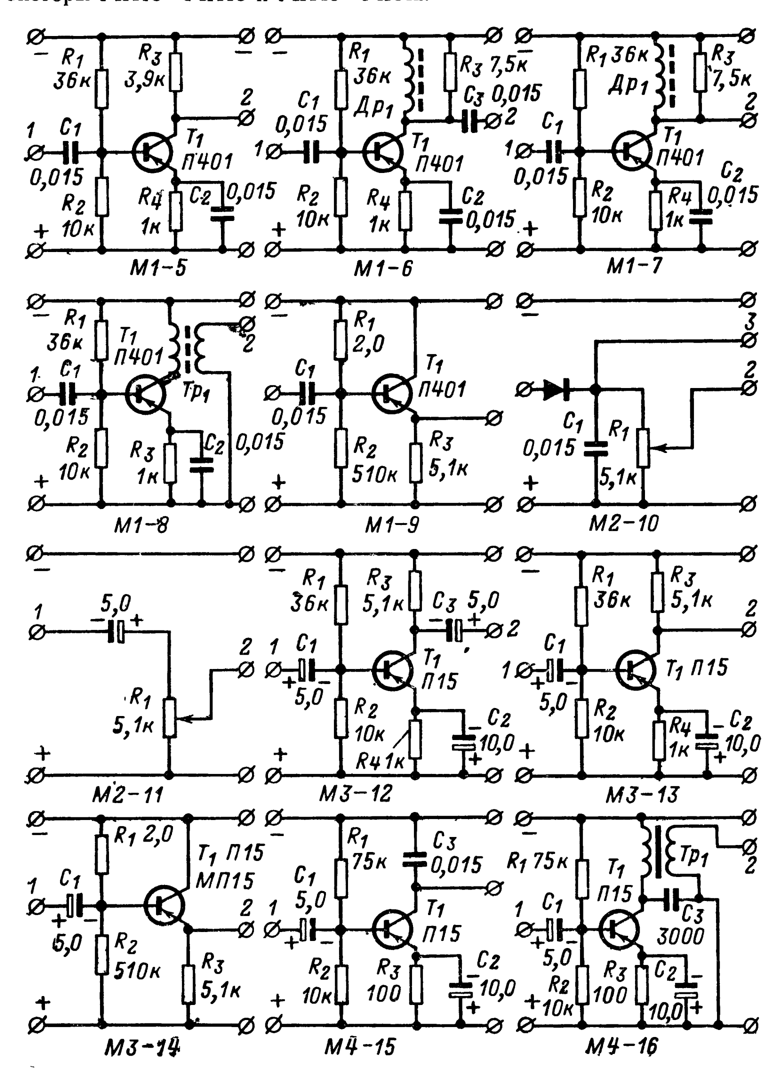


Рис. 22. Схемы микромодулей М1-5—М1-9, М2-10, М2-11, М3-12—М3-14, М4-15, М4-16.

Микромодуль М3-14 — эмиттерный повторитель с большим входным и малым выходным сопротивлениями. Используется в усилителях низкой частоты, когда на вход подключают пьезоэлектрический звукосниматель с большим внутренним сопротивлением.

Микромодуль М4-15 — оконечный каскад усилителя низкой частоты с непосредственным включением высокоомного громкоговорителя (ДЭМ-4), подключаемого к контактам *2* и «—». Конденсатор C_3 шунтирует ДЭМ-4 на высоких частотах, обеспечивая более приятное звучание.

Микромодуль М4-16 — оконечный каскад усилителя низкой частоты. Ко вторичной обмотке трансформатора Tp_1 подключаются низкоомные громкоговорители.

Микромодуль М5-17 (рис. 23) — усилитель низкой частоты мощностью 0,15 *вт* — состоит из ступени предварительного усиления, выполненной на транзисторе T_1, и выходной ступени, выполненной по бестрансформаторной схеме, что облегчает изготовление модуля. Низкое выходное сопротивление схемы позволяет включать на выходе обмотку звуковой катушки громкоговорителя.

Микромодуль М5-18 — усилитель низкой частоты мощностью 1 *вт*; он аналогичен модулю М5-17. Резистор R_9 препятствует резкому изменению режима работы схемы при отключении громкоговорителя. В данном модуле транзисторы П201 могут быть заменены транзисторами П201А, П202, П203.

Микромодуль М6-19 — двухкаскадный усилитель низкой частоты с двухтактным трансформаторным выходным каскадом мощностью 0,25 *вт*.

Микромодули М7-20, М7-21, М7-22 представляют собой преобразователи частоты для диапазонов длинных (150—410 *кгц*), средних (525—1 600 *кгц*) и коротких (6—16 *Мгц*) волн соответственно.

Гетеродин микромодуля М7-20 выполнен по схеме с общей базой. Связь между настраиваемой катушкой гетеродина L_1 и катушкой обратной связи L_2 — трансформаторная. От 18—20-го витка катушки L_1 выполняется отвод, что позволяет на смеситель подать часть напряжения гетеродина, обеспечивая нормальный режим работы модуля. Настройка контура гетеродина осуществляется конденсатором переменной емкости, который подключается к контакту *4* (статор) и плюсовой шине питания (ротор). Конденсатор C_3 предназначен для подстройки контура гетеродина в начале диапазона (400—410 *кгц*). Двухконтурный фильтр L_3—L_6, а также катушки гетеродина L_1 и L_2 могут быть применены от транзисторного приемника «Селга». Микромодуль М7-21 отличается от М7-20 тем, что в нем конденсатор C_4 имеет бо́льшую емкость (270 *пф*), что обусловлено необходимостью обеспечивать большее перекрытие контура гетеродина (L_1, C_3, C_4) по частоте. Настройка контура гетеродина производится конденсатором, подключаемым к контакту *4* (статор) и контакту «+» (ротор). Катушки индуктивности применены от радиоприемника «Селга» (отвод в катушке контура гетеродина сделан от 11—12-го витка).

В микромодуле М7-22 катушка гетеродина L_1 намотана на каркасе диаметром 7 *мм* проводом ПЭВ-2 0,55; она содержит 13 витков. Намотка производится виток к витку с отводом от 2-го витка, катушка обратной связи L_2 содержит 5 витков провода ПЭЛШО 0,15; она наматывается на катушку L_1. С целью подгонки индуктивности катушки L_1 используется ферритовый сердечник диаметром 3 *мм*.

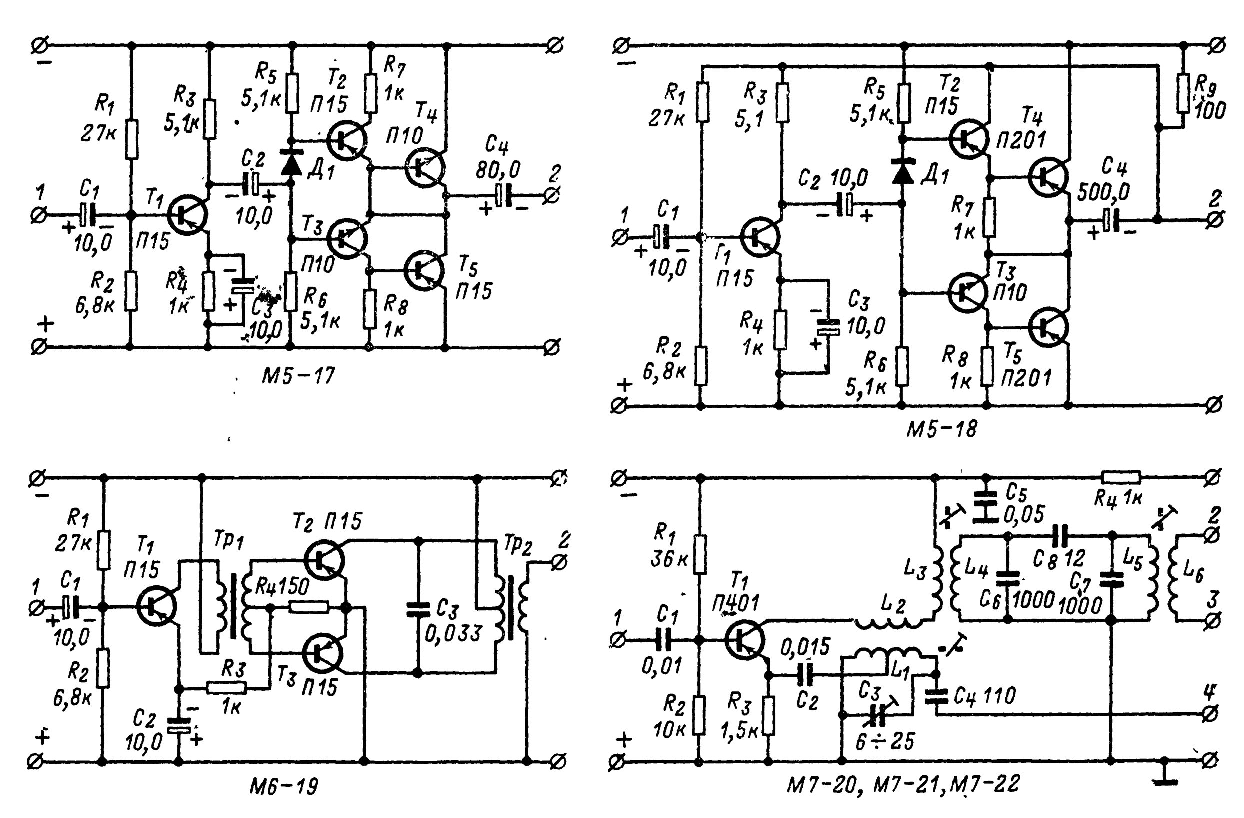


Рис. 23. Схемы микромодулей М5-17, М5-18, М6-19 М7-20—М7-22.

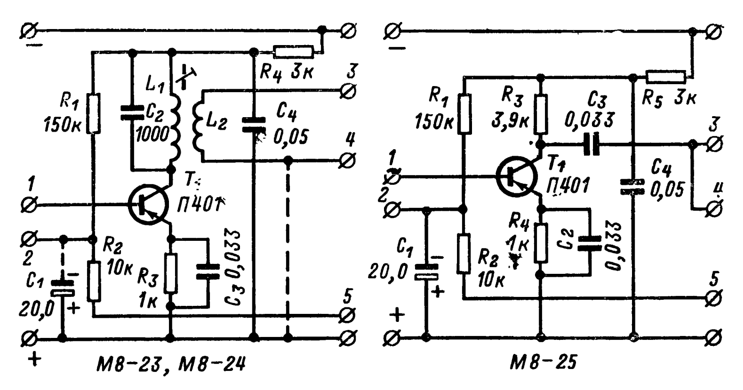


Рис 24. Схемы микромодулей М8-23—М8-25.

а)

б)

Рис. 25. Схемы блока питания М8-23—М8-25 (*а*) и стабилизатора напряжения (*б*).

В микромодулях преобразователей частоты могут быть использованы транзисторы типов П402, П414, П415, ГТ309, ГТ310.

Микромодули М8-23, М8-24 и М8-25 (рис. 24) представляют собой усилители промежуточной частоты. Конденсатор C_1 является развязывающим конденсатором *RC*-фильтра АРУ; в случае, когда АРУ не применяется, контакт *5* замыкают на плюсовую шину питания. Нагрузкой коллекторной цепи транзистора в модуле М8-24 служит контур L_1C_2, настроенный на промежуточную частоту 465 *кгц*. Фильтры промежуточной частоты L_1 и L_2 могут быть использованы от приемника «Селга». В микромодуле М8-24 по сравнению с модулем М8-23 катушка связи имеет большее число витков, что необходимо для согласования выхода микромодуля со входом детекторного каскада.

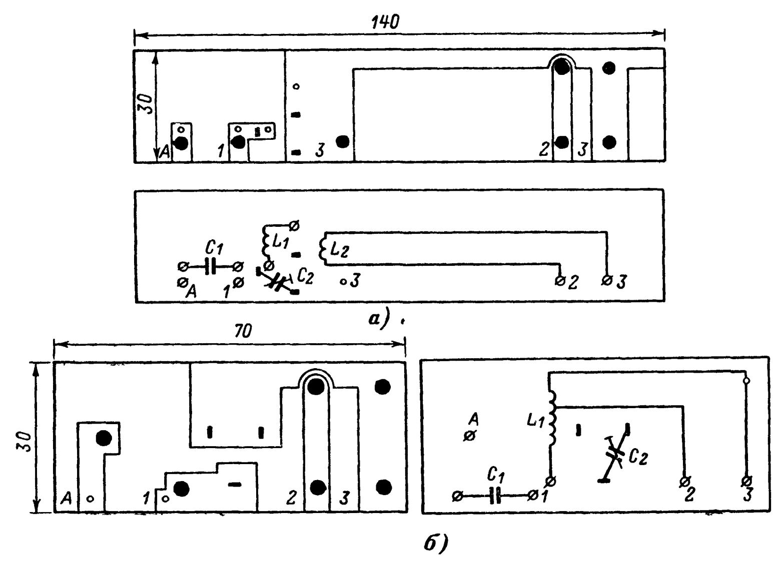


Рис. 26. Печатные платы и размещение деталей микромодулей М1-1—М1-2 (*а*) и М1-3 (*б*).

Схема блока питания радиоконструктора приведена на рис. 25,*а*. Трансформатор $Тр_1$ рассчитан на включение в сеть напряжением 220 и 127 *в*. С выхода трансформатора производится питание устройства и низковольтного паяльника (12 *в*), имеющегося в наборе радиоконструктора.

Аккумуляторная батарея имеет отвод 6 *в*; это напряжение используется для питания микромодулей. Можно применить для питания аккумуляторы 2КНЕ-2 (5 шт.), СЦ-0,5 или С9-1,5 (8 шт.).

Трансформатор выполнен на ленточном магнитопроводе (сечением 12×25 *мм*); сетевая обмотка содержит 2 400 витков (с отводом от 1 350-го витка), намотанных проводом ПЭВ-2 0,25; вторичные обмотки трансформатора имеют по 130 витков провода ПЭВ-2 0,8.

Блок питания выполняется на гетинаксовой плате размером 130×115 *мм*. На выходе выпрямителя может быть включен стаби-

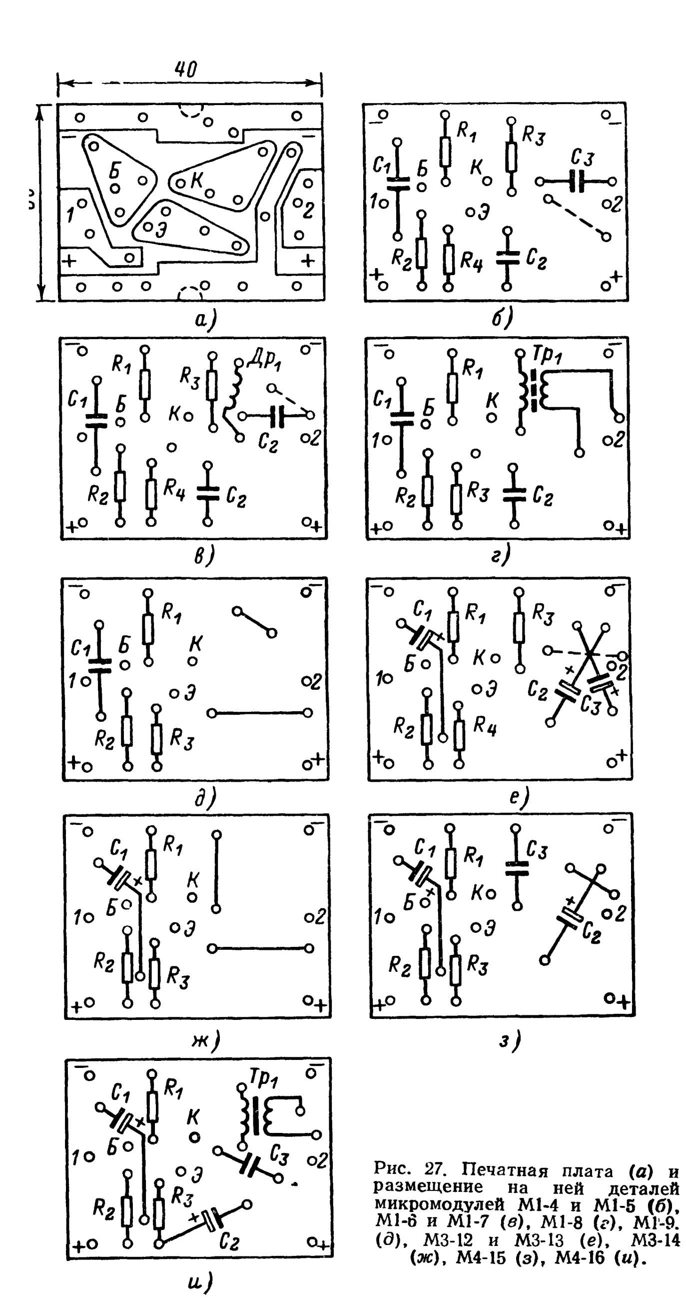
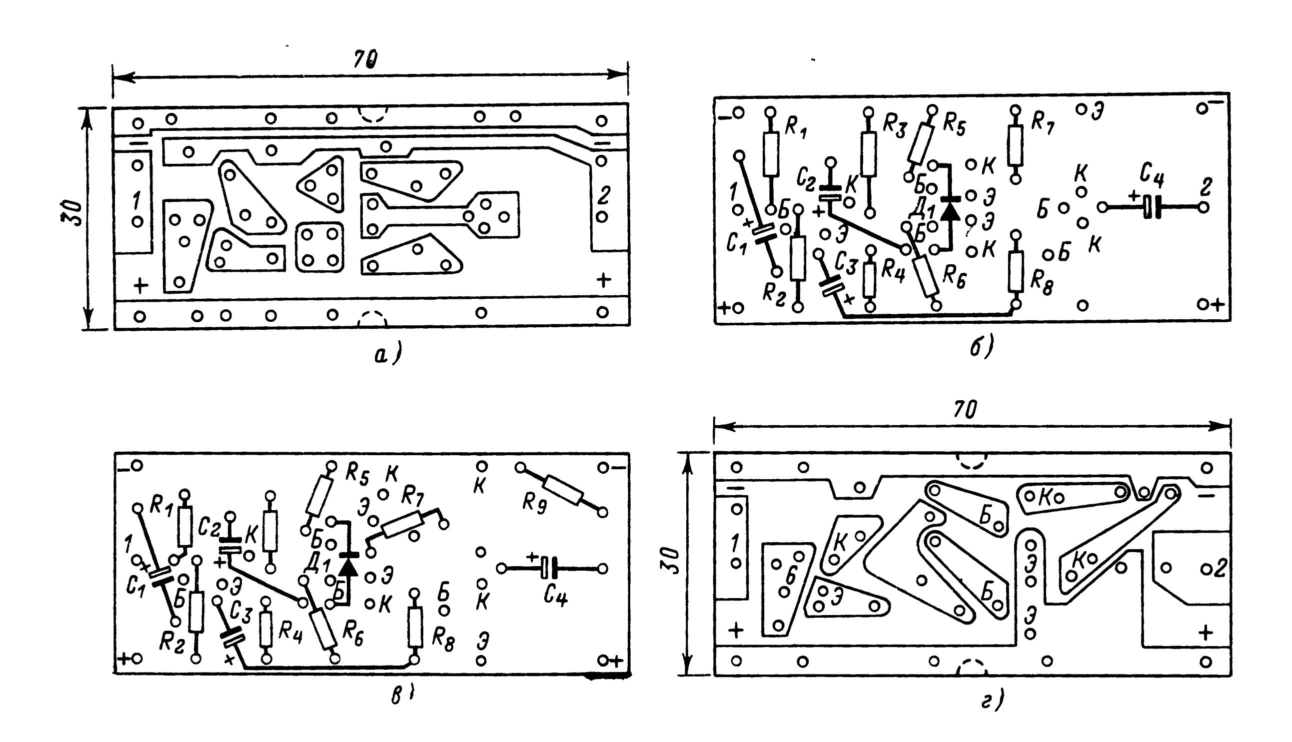
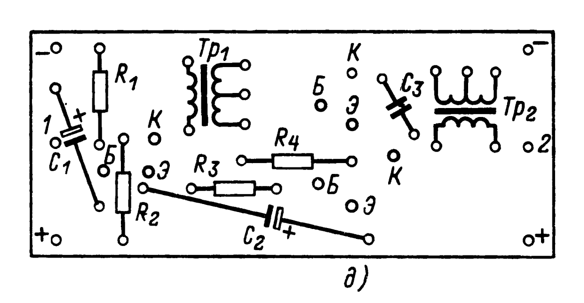
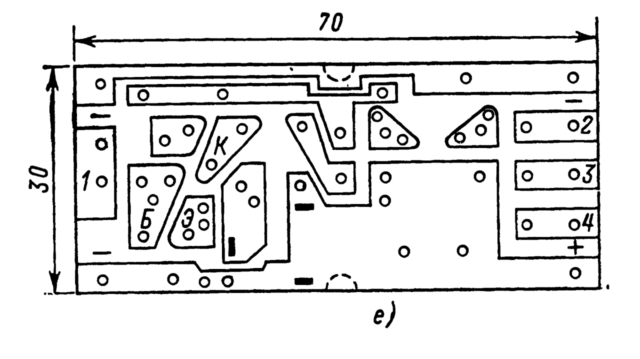


Рис. 27. Печатная плата (*а*) и размещение на ней деталей микромодулей М1-4 и М1-5 (*б*), М1-6 и М1-7 (*в*), М1-8 (*г*), М1-9 (*д*), М3-12 и М3-13 (*е*), М3-14 (*ж*), М4-15 (*з*), М4-16 (*и*).


70
30
1
2
+
а)
R1
R3
R5
R7
R2
R4
R6
R8
C1
C2
C3
C4
Д1
К
Б
Э
б)
R9
в)
г)





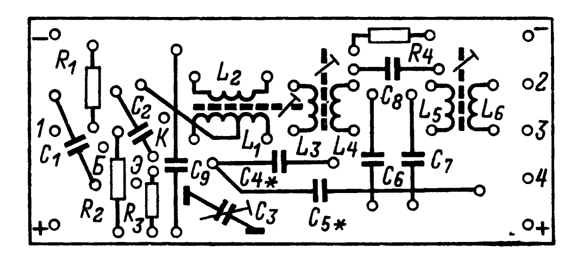


Рис. 28. Печатные платы и размещение микромодулей М5-17—М7-22.

а — плата микромодулей М5-17 и М5-18; *б*, *в* — размещение микромодулей М5-17 и М5-18 соответственно: *г*, *д* — плата микромодуля М6-19 и их размещение соответственно; *е*, *ж* — печатная плата и размещение на ней деталей микромодулей М7-20, М7-21, М7-22 соответственно.

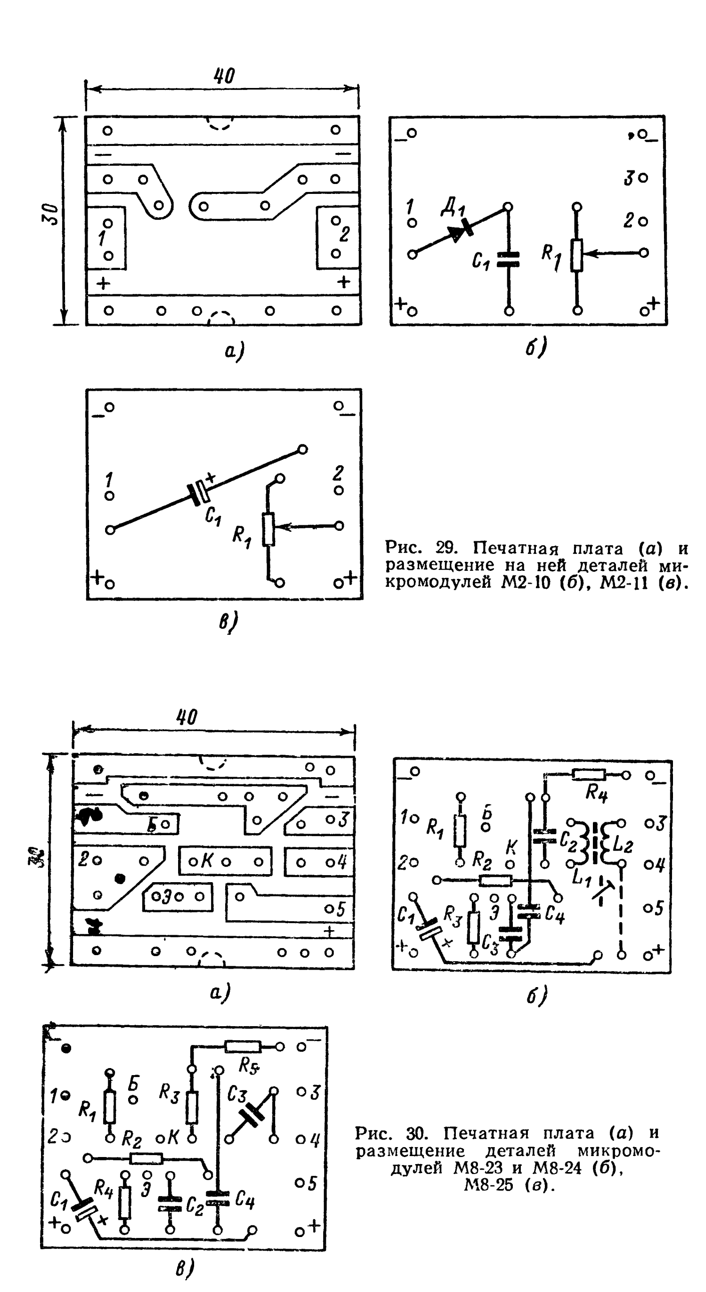


Рис. 29. Печатная плата (*а*) и размещение на ней деталей микромодулей М2-10 (*б*), М2-11 (*в*).

Рис. 30. Печатная плата (*а*) и размещение деталей микромодулей М8-23 и М8-24 (*б*), М8-25 (*в*).

лизатор напряжения (рис. 25,б) который можно смонтировать в виде отдельного модуля. Напряжение на выходе стабилизатора в небольших пределах можно регулировать резистором R_5.

Печатные платы микромодулей показаны на рис. 26—30.

К вспомогательным деталям, входящим в радиоконструктор, относятся измерительный прибор, инструмент, шланг питания, сетевой шланг, подающий напряжение к модулям радиодетали. В качестве измерительного прибора можно использовать любой тестер. В радиоконструкторе используется ампервольтметр Ц430/1. Для работы с конструктором необходимы инструменты: ланцет, пинцет, плоскогубцы, кусачки и низковольтный паяльник. Инструменты расположены в специальной секции ящика конструктора.

В радиоконструктор входят два сдвоенных блока переменных конденсаторов (с воздушным и твердым диэлектриком), громкоговорители мощностью 0,15 и 2 *вт*, электромагнитный капсюль ДЭМ-4М, малогабаритный микрофон от слухового аппарата типа «Кристалл», раздвижная антенна от приемника «Спидола», резисторы МЛТ-0,25 и конденсаторы МБМ различных номиналов.

Ящик радиоконструктора имеет размеры 410×290×110 *мм*. Он изготовлен из фанеры толщиной 5—10 *мм*. Дно ящика служит ограждательной доской для громкоговорителя 2ГД-1. В центре дна выпилено отверстие диаметром 130 *мм*, закрытое металлической сеткой. В углах дна установлены резиновые ножки, которые с целью нормальной работы громкоговорителя поднимают дно над столом. С внутренней стороны крышки ящика размещены альбом схем микромодулей и блок-схемы конструкций.

Налаживание микромодулей

Налаживание микромодулей М1-1, М1-2 сводится к подбору числа витков катушек L_1, а также перемещению этих катушек по ферритовому стержню. При правильно подобранном числе витков громкость звучания приемников в конце диапазона (150 и 525 *кгц*) будет максимальной. Взаимное расположение катушек связи L_2 и L_1 следует подбирать, исходя из лучшей громкости и избирательности приемника.

В микромодуле М1-3 индуктивность катушки L_1 подбирают с помощью магнитного сердечника. Подстройка входных контуров модулей М1-1, М1-2 и М1-3 в начале их рабочих диапазонов (410 *кгц*, 1 600 *кгц* и 15,8 *Мгц*) производится конденсаторами C_2. Удобно окончательную настройку контуров выполнять с помощью генератора высокой частоты.

Налаживание микромодулей М1-4—М1-8 начинают с проверки режима работы транзисторов по потребляемым токам. Измерение токов, потребляемых модулями, производят миллиамперметром на 3—5 *ма*, который включают между контактом «—» микромодуля и минусовым проводом, подающим напряжение от блока питания. «Плюсовый» провод шланга питания подключают непосредственно к плюсовой шине питания. Ток, потребляемый микромодулями М1-4—М1-8, должен составлять 0,5—1,2 *ма*. Режим транзистора по постоянному току устанавливают подбором резистора R_1.

При наличии генератора высокой частоты (100—150 *кгц*) и осциллографа можно определить коэффициент усиления модуля, а также его амплитудную характеристику. Так, если амплитуда сигнала, поступающего с генератора, равна 15 *мв*, а амплитуда

сигнала на выходе модуля 0,75 *в*, то коэффициент усиления будет равен 0,75/0,015=50. По форме синусоидального сигнала на экране осциллографа оценивают величину нелинейных искажений.

Микромодули М1-9, М2-10, М2-11 и М3-14 практически не требуют наладки; следует только перед выполнением микромодулей убедиться в исправности транзисторов.

Налаживание микромодулей М3-12 и М3-13 начинают с измерения потребляемых токов (токи должны находиться в пределах, указанных в табл. 6). В остальном налаживание микромодуля аналогично налаживанию микромодулей М1-4—М1-8, за исключением того, что при налаживании необходимо использовать генератор звуковой частоты (10^2—10^5 *гц*).

Таблица 6

Рабочие режимы микромодулей

Тип микромодуля	Диапазон рабочих токов микромодулей, *ма*	Напряжение на коллекторе транзистора T_1, *в*	Напряжение на базе транзистора T_1, *в*	Напряжение на эмиттере транзистора T_1, *в*
М1-4	0,5—1,2	4,5	1,2	1,0
М1-5	0,5—1,2	4,5	1,2	1,0
М1-6	0,5—1,2	6,0	1,0	0,8
М1-7	0,5—1,2	6,0	1,0	0,8
М1-8	0,5—1,2	6,0	1,2	1,0
М1-9	0,15—0,25	6,0	0,6	0,6
М3-12	0,8—1,2	2,0	0,5	0,3
М3-13	0,8—1,2	2,0	0,5	0,3
М3-14	—	6,0	0,6	0,6
М4-15	3—5	5,5	0,4	0,3
М4-16	3—5	5,5	0,4	0,3
М5-17	3,5—4	5,0	1,0	0,8
М5-18	4—5	4,0	1,2	1,0
М6-19	2,5—3,5	5,5	1,8	1,6
М7-20	1—2,5	5,0	1,2	1,4
М7-21	1—2,5	5,0	1,6	1,9
М7-22	1—2,5	5,0	2,6	2,7
М8-23	0,8—1	4,0	1,0	0,8
М8-24	0,8—1	4,0	1,0	0,8
М8-25	0,7—1	1,6	0,85	0,7

Примечание. Напряжения и токи измерены тестером типа АВО-5М или ТТ-1, ТТ-3 при напряжении питания 6 *в*.

Налаживание микромодулей М4-15—М5-18 также начинают с контроля потребляемых токов (табл. 6). При отклонении токов от указанных в табл. 6 проверяются монтаж микромодулей и исправность транзисторов. Окончательную проверку микромодулей удобно проводить с помощью генератора и осциллографа; от звукового генератора; на вход микромодулей подается напряжение частотой 500—1 000 *гц*. На выход микромодуля М5-17 подключают громкоговоритель 0,15ГД-1, а к микромодулю М5-18 — громкоговоритель 2ГД-1. Форму синусоидального сигнала на выходе микромодулей оценивают с помощью осциллографа, включаемого параллельно зву-

ковым катушкам громкоговорителей. На вход усилителей необходимо подавать напряжение не более 0,2—0,25 *в*. В случае наличия нелинейных искажений определяют, какой каскад их вносит (чаще всего оконечный каскад), и с целью их уменьшения подбирают транзисторы T_2—T_5 так, чтобы их параметры были близки.

Налаживание микромодулей М6-19 начинают с подбора сопротивления резистора R_4. Падение напряжения на нем должно быть 0,12—0,15 *в*. Это напряжение используется для смещения рабочих точек транзисторов T_2 и T_3, обеспечивая их режим работы по постоянному току. Ток, потребляемый микромодулем М6-19, указан в табл. 6.

При налаживании микромодулей М7-20—М7-22 сначала необходимо убедиться в наличии генерации. Для этого в разрыв коллекторной цепи транзистора T_1 (между катушкой L_3 и контактом «—») включают миллиамперметр (3—5 *ма*) и, замыкая катушку L_1 или L_2, наблюдают за его показаниями. Если замыкание катушек уменьшает ток, значит гетеродины работают нормально. При отсутствии генерации меняют местами концы катушки L_2 или увеличивают число витков. Токи, потребляемые микромодулями М7-20—М7-22, указаны в табл. 6.

При налаживании микромодулей преобразователей частоты к их входам подключают входные контуры (микромодуль М1-1 — к микромодулю М7-20, микромодуль М1-2 — к М-21 и микромодуль М1-3 — к М7-22), а также подпаивают конденсаторы переменной емкости. Лучше всего налаживать микромодули с помощью генератора высокой частоты и осциллографа. Налаживание начинают с настройки фильтров промежуточной частоты L_4, $C_6(C_4)$ и L_5, $C_7(C_5)$ на частоту 465 *кгц*. Ко входу микромодулей М7-20—М7-22 подключают выход генератора высокой частоты (465 *кгц*), а к выходу модулей — осциллограф. Вращением сердечников катушек L_4 и L_5 добиваются наибольшей амплитуды сигнала на экране осциллографа. Далее определяют границы частот, генерируемых гетеродинами. На входы преобразователей подают сигнал с частотой 150—410 *кгц* (микромодуль М7-20), 525—1 500 *кгц* (микромодуль М7-21) и 6,0—15,8 *Мгц* (микромодуль М7-22). Отметим, что высокочастотные края диапазона настраивают при выведенных роторах блока конденсаторов (минимальная емкость), а низкочастотные — при полностью введенных роторах блока конденсатора, т. е. при максимальной емкости. На высокочастотном краю диапазона контуры гетеродинов подгоняют подстроечными конденсаторами C_3 по максимальному сигналу на экране осциллографа, а низкочастотную границу частот контуров устанавливают с помощью магнитных сердечников катушек L_1. Налаживание поочередно повторяют несколько раз, добиваясь максимального сигнала.

После настройки гетеродинов приступают к сопряжению настроек этих контуров с микромодулями М1-1—М1-3. На вход этих микромодулей от генератора подают те же частоты, что и при настройке контуров гетеродинов (150—410 *кгц*, 525—1 500 *кгц* и 6,0—15,8 *Мгц*), и с помощью подстроечных конденсаторов C_2 микромодулей М1-1—М1-3 добиваются максимального показания миллиамперметра (на высокочастотных границах диапазонов), а с помощью подгонки индуктивности катушек — максимального показания милливольтметра (на низкочастотных концах диапазонов). Налаживание повторяют несколько раз.

Налаживание микромодулей М8-23 и М8-24 производят с помощью генератора высокой частоты и милливольтметра. Сигнал с частотой 465 *кгц* подают на входы модулей (контакты *1* и *2* в микромодулях М8-23, М8-24 и М8-25 замыкают между собой, контакт *5* замыкают с «+» шиной, конденсаторов C_1 отключают), и по максимальному показанию милливольтметра, подключенного к контакту *3* и контакту *4*, вращением магнитных сердечников катушек L_1 настраивают фильтры промежуточной частоты на частоту 465 *кгц*. Токи, потребляемые модулями усилителей промежуточной частоты, находятся в пределах, указанных в табл. 6. Микромодуль М8-25 налаживается так же, как микромодули высокой частоты.

Радиоконструктор на микромодулях, показанный на рис. 31, предназначен для повышения знаний и практических навыков уча-

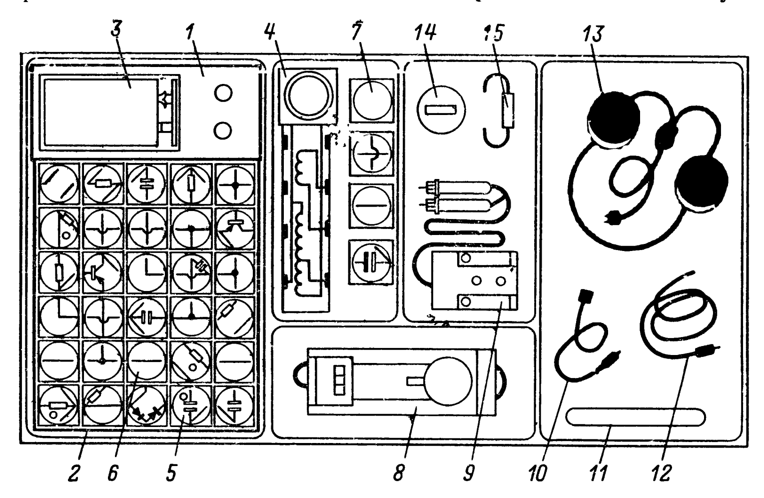


Рис. 31. Общий вид и основные элементы микромодульного радиоконструктора.

1 — коробка с контактами; *2* — крышка; *3* — батарея «Крона»; *4* — антенный модуль; *5* — модули с деталями; *6* — модули с перемычками; *7* — запасной модуль; *8* — ключ Морзе со шнуром и штекерами, *9* — соединительная плата со шнуром и двумя штекерами; *10* — антенный провод со штекером и контактом; *11* — перемычка; *12* — провод заземления со штекером; *13* — головные телефоны ТОН-2; *14* — фоторезистор (ФСК-1 или ФСК-6); *15* — терморезистор (КМТ-1; 200—330 *ком*).

щихся вузов и техникумов в области радиоэлектроники, радиосвязи и автоматики. Отметим, что он может быть полезен и опытным радиолюбителям, позволяя быстро (без применения пайки) собирать радиосхемы. Радиоконструктор рассчитан на эксплуатацию в помещении или на открытом воздухе на высоте над уровнем моря не более 6 000 *м* при температуре воздуха 5—40 °С и относительной влажности до 80% (при отсутствии атмосферных осадков и пыли).

На основе данного радиоконструктора можно быстро (без применения пайки) собирать 26 радиосхем.

Радиоконструктор состоит из набора микромодулей, показанных на рис. 32. Антенный микромодуль содержит ферритовую антенну и две катушки: контурную и катушку связи. Контурная ка-

тушка имеет отвод от $^1/_3$ витков, считая от начала катушки. В микромодуль вмонтирован конденсатор переменной емкости КП4-3А. Индуктивность антенной катушки L_1 составляет 4,3± 0,3 *мгн*; конденсатор и катушка L_1 образуют контур, рассчитанный на прием радиостанций длинноволнового диапазона.

Микромодули, показанные на рис. 32, содержат либо отдельные радиокомпоненты, либо перемычки для соединения схем. На каждом микромодуле изображена его схема. Комплект конструктора входят терморезистор и фоторезистор, позволяющие собирать функциональные микромодульные схемы. Питание устройств производится от батареи «Крона»; наибольший ток, потребляемый от батареи, не превышает 4—5 *ма*.

Каркас микромодульного конструктора изготовлен из пластмассы; его размеры 140×92×21 *мм*; бóльшую часть каркаса занимают углубления, предназначенные для установки модулей. Надежный контакт микромодулей друг с другом обеспечивается пружинами, расположенными в пазах боковых стенок.

Для надежного контакта и удержания микромодулей на их местах при сборке схем углубление коробки необходимо полностью заполнять микромодулями.

В комплект микромодульного конструктора входят 34 микромодуля: 17 с радиодеталями, 16 с проволочными перемычками и один запасной без деталей и перемычек; в комплект также входят телефоны типа ТОН-2, в цепь питания которых включен для регулирования громкости переменный резистор.

Микромодуль устанавливается в заданное положение в соответствии с монтажным рисунком. Свободная клетка на монтажном рисунке может быть заполнена любым микромодулем, так как в работе схемы они не участвуют. Рекомендуется при укладке микромодулей один вертикальный и один горизонтальный ряд оставлять свободными, заполняя их в последнюю очередь.

При сборке микромодульных приемников сначала вставляется антенный микромодуль, затем другие микромодули. Телефоны подключаются в последнюю очередь, после сборки и проверки схемы.

Микромодульные радиоприемники

Совокупность рассмотренных микромодулей позволяет собирать большое число схем радиоприемников. Блок-схемы ряда типовых радиоприемников, собранных из микромодулей, приведены на рис. 33.

Самый простой детекторный приемник типа 0-V-0 состоит из двух микромодулей: М1-1 и М2-10 (рис. 33,*а*). Приемник может принимать мощные радиостанции длинноволнового диапазона. Чувствительность приемника можно повысить присоединением наружной антенны к гнезду *А* микромодуля М1-1; необходимо также подключить к приемнику заземление. Головные телефоны подключают к выходу микромодуля М2-10. Настройку на станцию производят переменным конденсатором, используя одну секцию сдвоенного блока конденсаторов.

В схеме, показанной на рис. 33,*б*, добавлен микромодуль М3-12 (УНЧ), что позволяет повысить звучание принимаемых станций. Микромодульный радиоприемник, собранный по схеме на рис. 33,*в*, состоит из четырех микромодулей: М1-1, М2-10, М3-12 и М4-15. Такой детекторный приемник обозначают 0-V-2, т. е. он имеет два каскада усиления низкой частоты. В качестве громкоговорителя

на выходе модуля М4-15 служит микротелефонный капсюль ДЭМ-4М.

Показанная на рис. 33,*г* блок-схема позволяет собрать приемник прямого усиления (1-V-0) с одним каскадом усиления высокой частоты (микромодуль М1-4). Усилитель высокой частоты увеличивает чувствительность приемника. Приемник с блок-схемой

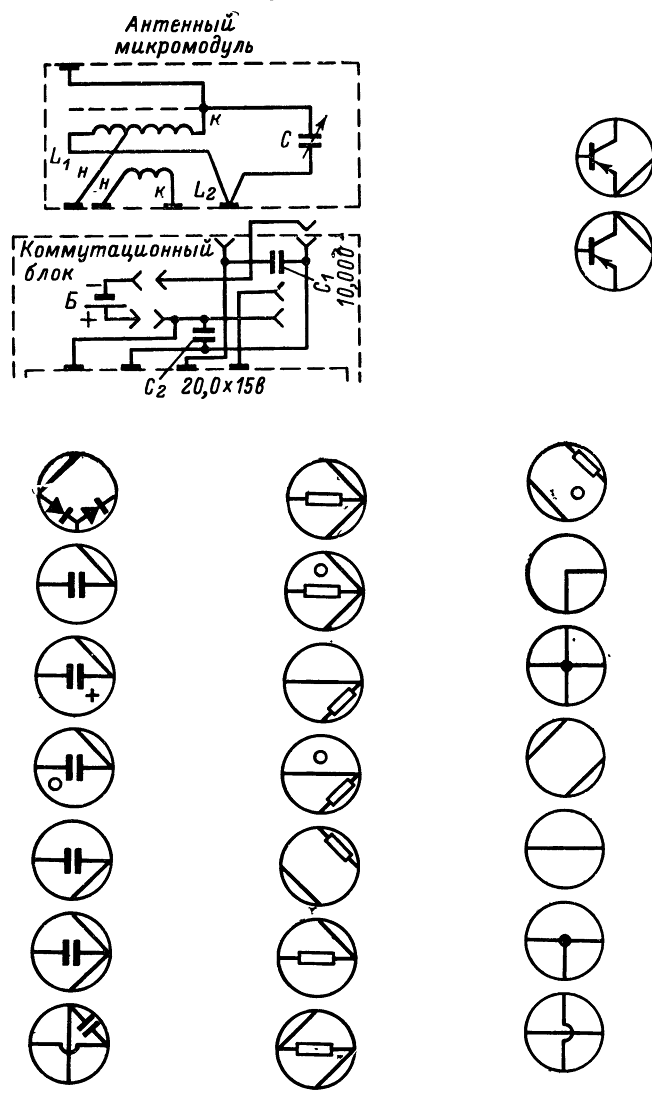


Рис. 32. Схемы микромодулей.

(рис. 33,*д*), построенной по типу 2-V-0, имеет два каскада УВЧ, что делает приемник настолько чувствительным, что можно вести прием радиостанций на ферритовую антенну. Отметим, что в приемниках, содержащих два и более каскадов УВЧ, может возникнуть паразитная генерация (по этой причине применять более трех каскадов УВЧ по высокой частоте вообще не рекомендуется). При возникновении паразитной генерации (свист в телефонах или громкоговорителе, шипение и пр.) необходимо включить *RC*-фильтры между каскадами высокой частоты (микромодулями) вместо соединительных перемычек в минусовой шине питания микромодулей; емкость конденсаторов 0,05 *мкф*; сопротивление резисторов 1 *ком*.

Приемник прямого усиления (рис. 33,*е*) состоит из четырех микромодулей: М1-1, М2-10 и М3-12. Блок-схема приемника, показанного на рис. 31,*ж*, содержит пять микромодулей (М1-1, М1-8, М1-10, М3-12 и М4-15) и отличается от предыдущей тем, что в ней добавлен каскад УНЧ, что позволяет включить на выходе приемника громкоговоритель, а вместо громкоговорителя используется микротелефонный капсюль ДЭМ-4М (модуль М4-15 специально предназначен для подключения этого капсюля). Приемник обеспечивает громкий прием ближайших радиостанций на ферритовую антенну. Развязывающий *RC*-фильтр обеспечивает более устойчивую в отношении самовозбуждения работу радиоприемника.

Блок-схема приемника прямого усиления 2-V-2 (рис. 33,*з*) состоит из шести микромодулей (М1-1, М1-5, М1-8, М2-10, М3-12 и М4-16). Приемник имеет два каскада УВЧ и два каскада УНЧ, что делает его более чувствительным по сравнению с предыдущим. На этот приемник возможен прием удаленных радиостанций со значительно большей громкостью.

Микромодульный супергетеродинный приемник собран по блок-схеме на рис. 33,*и*, он состоит из шести микромодулей: М1-1, М7-20, М8-23, М8-24, М2-10 и М6-19. Данный приемник содержит преобразователь частоты (микромодуль М7-20), два каскада УПЧ (микромодули М8-23 и М8-24) и двухкаскадный УНЧ (микромодуль М6-19), обеспечивает надежный прием на магнитную антенну многих удаленных радиостанций. В такой приемник целесообразно ввести цепь АРУ. При сборке супергетеродинных приемников при использовании микромодуля М8-25 в качестве первого каскада УПЧ необходимо в микромодуле М8-24 (второй каскад УПЧ) отключить конденсатор C_1 от базы транзистора T_1, а контакты *1* и *2* замкнуть между собой. С целью предотвращения самовозбуждения УПЧ цепь АРУ подключают только к первому каскаду УПЧ, а в остальных каскадах контакт *5* замыкают с плюсовой шиной питания.

Микромодули конструктора, показанные на рис. 32, позволяют собрать целую серию радиоприемников. Схемы приемников приведены на рис. 34 и 35. Приемник типа 0-V-0 на одном транзисторе является простейшим из этой серии (рис. 34,*а*).

К зажиму *А* (антенна) подсоединяется провод, соединяющий приемник с наружной антенной. В случае отсутствия наружной антенны провод можно обвить вокруг телевизионного кабеля (при этом шнур питания телевизора должен быть вынут из розетки).

Зажим *З* (земля) необходимо соединить с предметом, зарытым в землю.

Аналогично производится включение приемника типа 0-V-1 (рис. 34,*б*). Местные радиостанции могут быть слышны без антенны

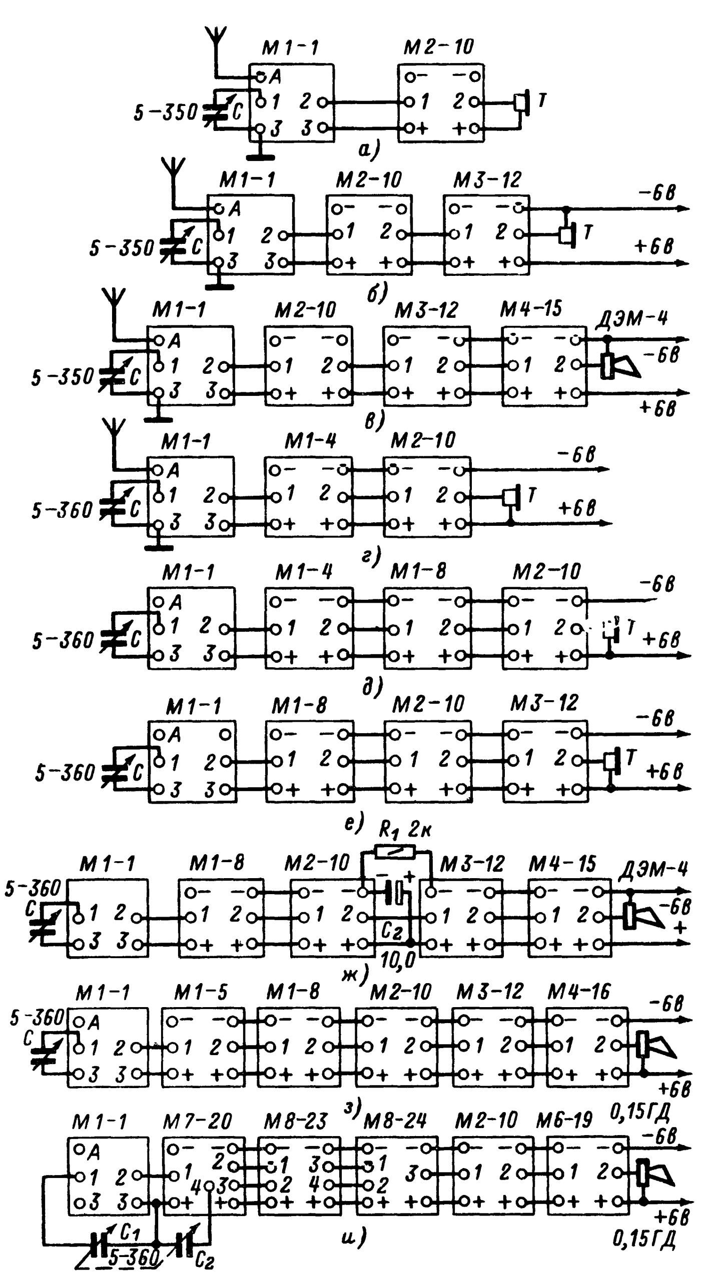


Рис. 33. Блок-схемы микромодульных радиоприемников.

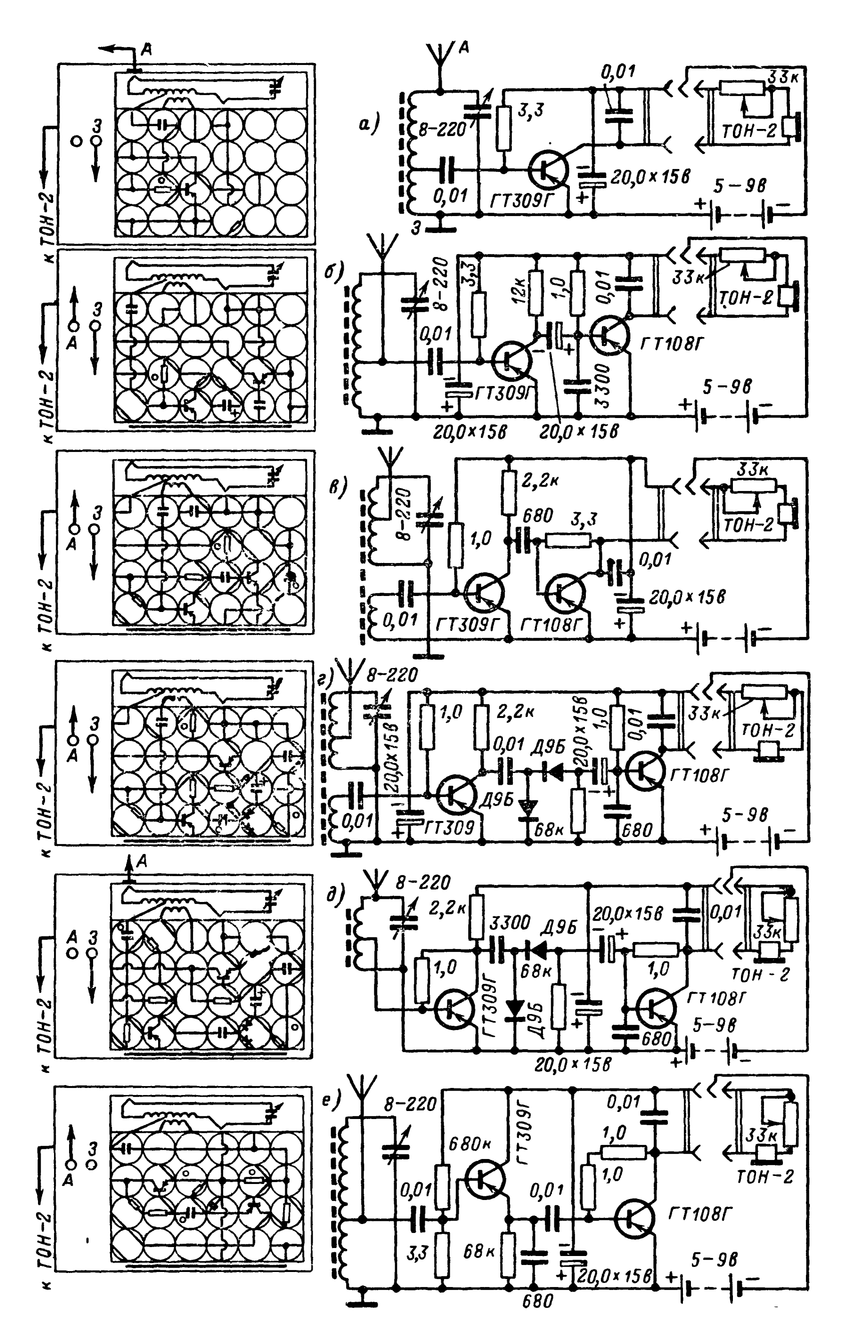


Рис. 34. Схемы микромодульных радиоприемников.

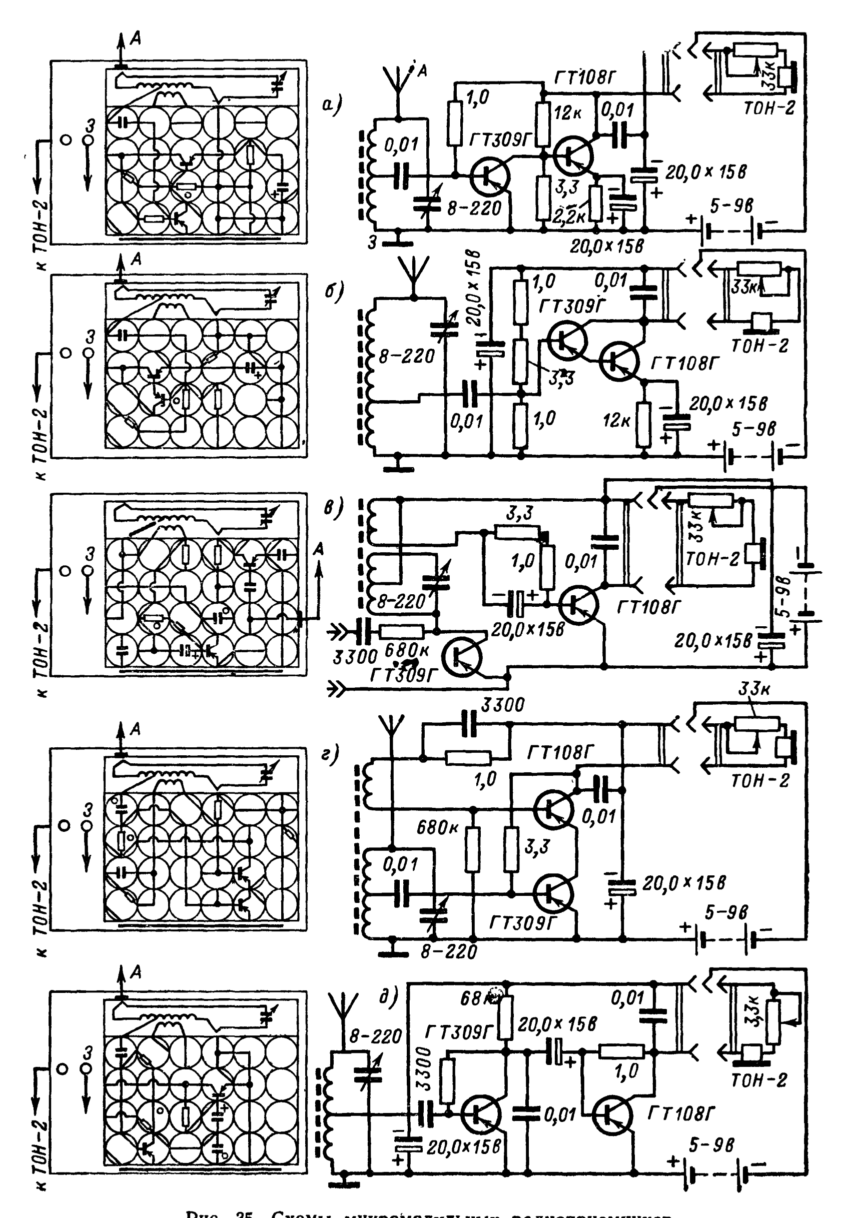


Рис. 35. Схемы микромодульных радиоприемников.

а — с непосредственной связью; *б* — на составном транзисторе; *в* — с апериодическим входом; *г* — по каскодной схеме; *д* — типа 0-V-1 со стабилизацией.

и заземления; наибольшая громкость имеет место при ориентации антенного модуля на радиостанцию.

Приемники на двух транзисторах типов 1-V-0 и 1-V-1 показаны на рис. 34,*в*, *г*, *д*. Приемник типа 1-V-1 позволяет без применения внешней антенны и заземления принимать программы двух-трех радиовещательных станций.

Данный приемник можно использовать для ориентации на местности по сигналам местной радиостанции, поскольку антенный микромодуль обеспечивает максимальный входной сигнал при ориентации на радиостанцию.

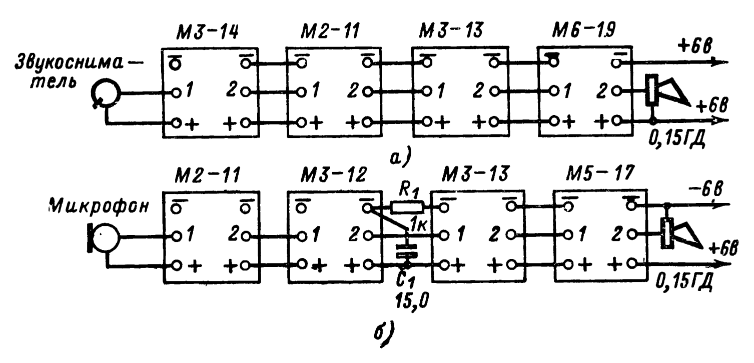


Рис. 36. Блок-схемы микромодульных усилителей.

Микромодульные усилители

В радиолюбительской практике широко используются усилители, которые легко выполняются на основе рассмотренных микромодулей. Блок-схемы микромодульных усилителей низкой частоты показаны на рис. 36.

Микромодульный усилитель (рис. 36,*а*), предназначенный для воспроизведения записей с грампластинок, состоит из четырех микромодулей: М3-14 — эмиттерного повторителя (для согласования высокоомного пьезокерамического звукоснимателя с низкоомным входом усилителя), М2-11 — регулятора громкости, М3-13 — предварительного каскада УНЧ и М6-19 — оконечного УНЧ. При необходимости увеличения выходной мощности можно вместо микромодуля М6-19 применить микромодуль М5-18 с громкоговорителем 2ГД-1.

Схема, показанная на рис. 36,*б*, предназначена для усиления передач непосредственно с микрофона. Усилитель состоит из четырех микромодулей. Между первым и вторым каскадами усиления включен *RC*-фильтр для предотвращения самовозбуждения усилителя; емкость конденсатора фильтра выбирается не менее 10 *мкф*.

На основе микромодулей, показанный на рис. 32, можно собрать усилители на одном или двух транзисторах. Схемы сборки микромодульных усилителей и соответствующие им электрические схемы показаны на рис. 37.

Усилитель на одном транзисторе (рис. 37,*а*) позволяет слушать граммофонные и магнитофонные записи. Выход звукоснимателя соединяют с гнездами конструктора (оплетку экранированного провода звукоснимателя — с правым гнездом, а провод, несущий сигнал, с левым).

Усилитель с эмиттерным повторителем показан на рис. 37,*б*. Подключение звукоснимателя к усилителю производится аналогично предыдущей схеме.

На рис. 37,*в* показан микромодульный усилитель на двух транзисторах, обладающий более высокой чувствительностью по сравнению с ранее рассмотренными схемами.

Усилитель низкой частоты со стабилизацией режима работы показан на рис. 37,*г*. Его можно использовать для простейшего переговорного устройства и воспроизведения грамзаписи. Включив в усилитель точечный диод, получим пробник, с помощью которого можно проверить работу каскадов магнитофона или радиоприем-

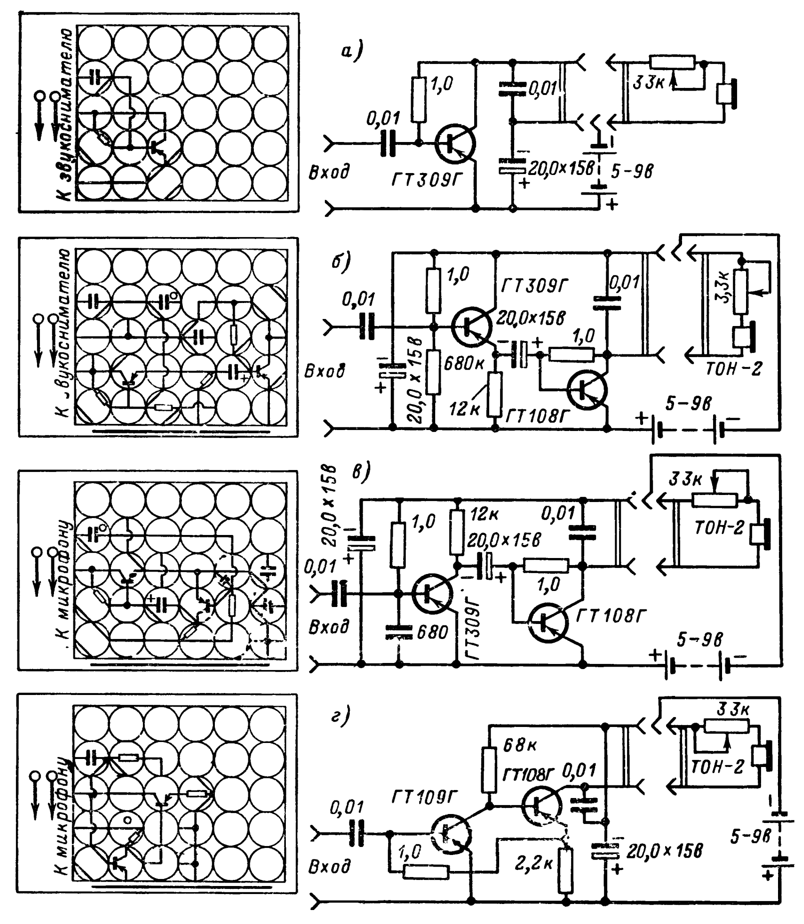


Рис. 37. Схемы микромодульных усилителей.

а — на одном транзисторе; *б* — с эмиттерным повторителем; *в* — на двух транзисторах; *г* — со стабилизацией рабочего режима.

ника. При напряжении питания 9 *в* минимальное усиление УНЧ составляет 240—250.

Отечественной промышленностью выпускаются микромодульные усилители различного назначения. Приведем электрические схемы и основные характеристики ряда микромодульных усилителей.

Усилители низкой частоты П33Н. 1 (1). 13-1 и П33Н. 1 (1). 13-2 (рис. 38) предназначены для использования в первых каскадах УНЧ; они имеют большое входное сопротивление, достигаемое вклю-

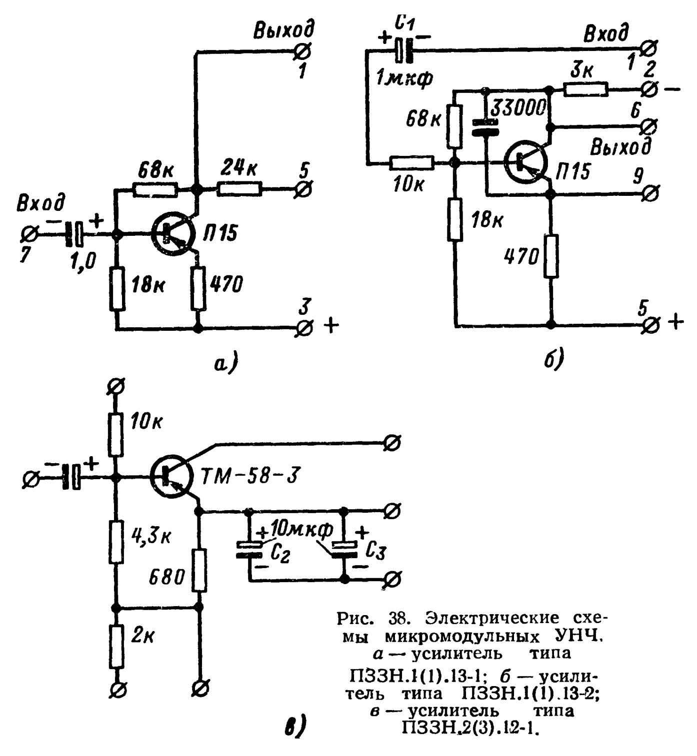


Рис. 38. Электрические схемы микромодульных УНЧ.
а — усилитель типа П33Н.1(1).13-1; *б* — усилитель типа П33Н.1(1).13-2; *в* — усилитель типа П33Н.2(3).12-1.

чением в цепь эмиттера сопротивления обратной связи. Усилитель низкой частоты Н.1(1). 13-1 имеет линейную входную характеристику в диапазоне частот 0,3—20 *кгц*, а УНЧ типа Н.1(1). 13-2 — частотную характеристику с завалом на высоких частотах (приблизительно 6 *дб* на октаву).

Усилитель П33Н.2 (3). 12-1, показанный на рис. 38,*в*, предназначен для использования в качестве маломощного оконечного каскада; обычно он используется с согласующим трансформатором.

Рассмотрим схемы и приведем основные характеристики микромодулей-усилителей высокой частоты, широко используемых в радиоприемных устройствах.

Усилитель высокой частоты, показанный на рис. 39,*а*, предназначен для использования в портативных радиоприемниках диапазона частот 30—46 *Мгц* (контуры рассчитаны на частоту 44 *Мгц*).

Усилитель выполнен на транзисторе ГТ313Б, включенном по схеме с общим эмиттером. Контуры преселектора не входят в модуль. На выходе включен двухконтурный фильтр с полосой пропу-

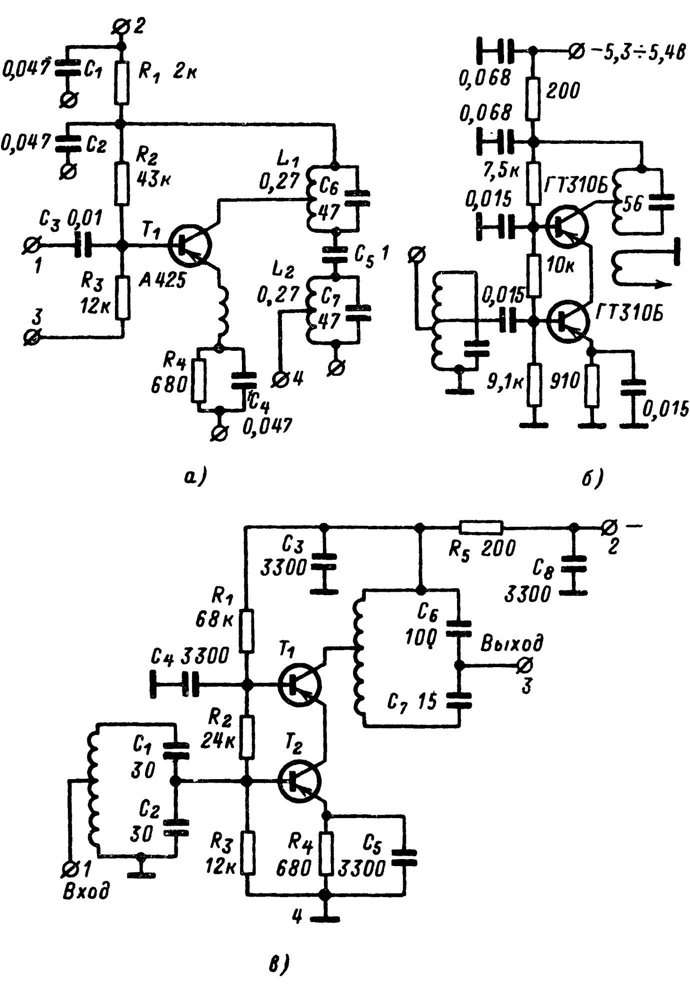


Рис. 39. Электрические схемы микромодульных УВЧ.
а, б, в — схемы УВЧ, рассчитанные на частоты 44, 27 и 160 *Мгц* соответственно.

скания 1,6 *Мгц*, рассчитанный на подключение нагрузки 200 *ом*. С целью повышения линейности в цепь эмиттера включен дроссель.

Диапазон рабочих температур усилителя от —20 до +50 °С. Напряжение питания 8,5—11,5 *в*. Усилитель применяется как одиноч-

Таблица 7

Характеристики модулей для УНЧ

Характеристики микромодулей	Микромодуль Н.I(I).13-1	Микромодуль Н.I(I).13-2
Крутизна	25±10% на частоте 1 000 *гц*	1,3±25% на частоте 300 *гц*
Нестабильность крутизны:		
при изменении напряжения питания от 10,7 до 14,5 *в*	±8%	±8%
при изменении температуры от —30 до +50 °С	±15%	±12%
Средний потребляемый ток	2,4 *ма*	1,97 *ма*
Напряжение питания	12,6 *в*	12,6 *в*
Входное сопротивление	10 *ком* ±30%	12 *ком*±20%

ный каскад перед преобразователем частоты Основные характеристики микромодуль имеет следующие:

Коэффициент усиления при нагрузке 200 *ом*	4—5
Шум-фактор в полосе частот 0,3—3,4 *кгц*, не более	3 *дб*
Входное сопротивление	60—80 *ом*
Потребляемый ток	1,8—2,2 *ма*

Схема микромодульного УВЧ для портативного приемника коротковолнового диапазона показана на рис. 39,*б*. Диапазон частот усилителя 1—35 *Мгц*. На рис. 39,*б* показана схема УВЧ на частоту 27 *Мгц*.

Усилитель высокой частоты выполнен по каскодной схеме ОЭ—ОБ. С целью уменьшения тока потребления применено последовательное питание транзисторов; в микромодуль входят контуры преселекторов и согласующий контур нагрузки, рассчитанный на сопротивление 200 *ом*. Диапазон рабочих температур усилителя от —20 до +50 °С; напряжение питания 5,3—7 *в*. Коэффициент усиления микромодуля при нагрузке 200 *ом* не менее 10; входное сопротивление 75 *ом*; потребляемый ток 0,8—1,2 *ма*.

Усилитель высокой частоты, показанный на рис. 39,*в*, применяется в приемниках диапазона частот 120—180 *Мгц*. Усилитель выполнен по каскодной схеме ОЭ-ОБ. На входе УВЧ установлен контур, согласующий усилитель с антенной, на выходе — контур для

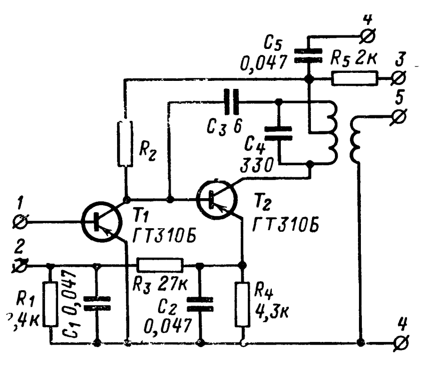


Рис. 40. Электрическая схема микромодульного УПЧ на частоту 500 *кгц*.

согласования с нагрузкой. УВЧ рассчитан на диапазон температур от —20 до +50 °С и напряжение питания 8,5—11,5 *в*. Коэффициент усиления микромодуля при нагрузке 75 *ом* равен 4—6; шум-фактор в полосе 0,3—3,4 *кгц* равен 3 *дб*; входное сопротивление 75 *ом*; потребляемый ток 1 *ма*.

Схема усилителя промежуточной частоты УПЧ-465, показанная на рис. 40, применяется в приемниках с амплитудной и частотной модуляцией на частотах 465—1 600 *кгц*. В приемниках с амплитудной модуляцией усилитель осуществляет все усиление по промежуточной частоте; его контур рассчитывается на нагрузку детектором сигнала и детектором АРУ. В приемниках с частотной модуляцией его используют в первом каскаде УПЧ.

Усилитель промежуточной частоты выполнен по каскодной схеме с непосредственной связью. Диапазон рабочих температур микромодуля от —20 до +50 °С; коэффициент усиления по напряжению на нагрузке 1,4 *ком* составляет 600—850; потребляемый ток составляет 1,25 *ма*; входное сопротивление 2 *ком*; напряжение питания 10 *в*.

Микромодульные генераторы и схемы автоматики

В радиолюбительской практике всегда полезны звуковой генератор и генераторы сигналов. Эти устройства легко могут быть выполнены на основе микромодулей, показанных на рис. 32.

Схемы генераторов приведены на рис. 41. Показанная на рис. 41,*а* схема представляет собой генератор звуковых частот, который может быть использован для ориентировочной настройки усилителей низких частот или колебательных контуров приемников (в диапазоне длинных волн). Включение генератора производится замыканием контактов *К*.

На рис. 41,*б* приведена схема мультивибратора. На основе микромодулей могут быть выполнены различные схемы автоматики. Так, схему, показанную на рис. 41,*б*, можно использовать для контроля уровня жидкости: когда уровень жидкости достигает контактов *К*, в схеме возникают колебания звуковой частоты. Данное устройство может быть использовано для сравнения электропроводности жидкостей: чем выше электропроводность, тем ниже частота звукового сигнала.

Устройство, реагирующее на интенсивность освещенности, показано на рис. 41,*в*. С увеличением интенсивности светового потока сопротивление фоторезистора ФСК-6 уменьшается и в схеме возникают колебания звуковой частоты. При слабой освещенности фоторезистора схема потребляет ток не более 0,2 *ма*.

Устройство, реагирующее на изменения температуры, показано на рис. 41,*г*. При повышении температуры до 50—60 °С сопротивление терморезистора уменьшается, интенсивность колебаний звуковой частоты в схеме резко возрастает. Расстояние от терморезистора до устройства может составлять десятки метров.

Безусловно, возможности микромодульного конструирования не ограничиваются рассмотренными устройствами. На основе микромодулей можно собрать многие другие устройства.

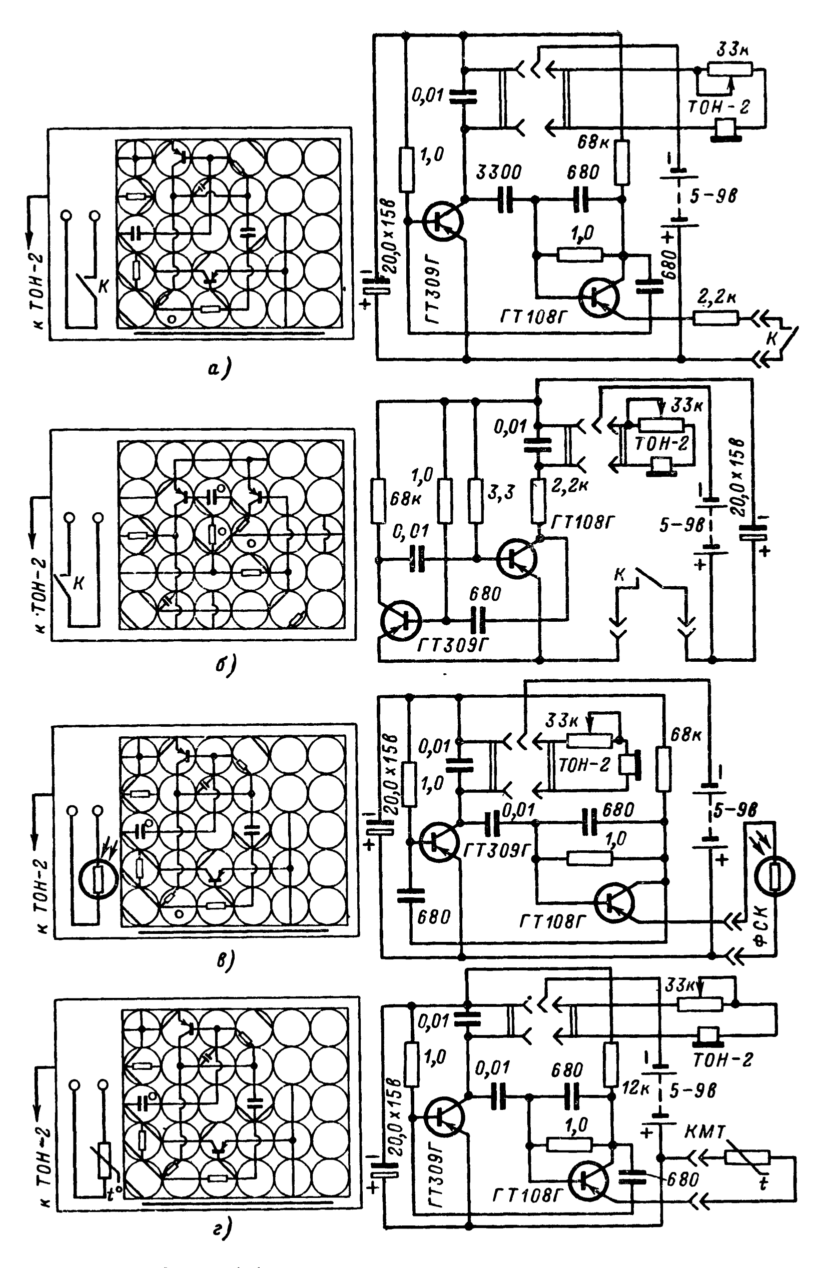


Рис. 41. Схемы (сборки и электрические) микромодульных устройств.

а — генератор; *б* — мультивибратор (автомат, контролирующий уровень жидкости); *в* — автоматическое устройство, реагирующее на интенсивность светового потока; *г* — автоматическое устройство, реагирующее на повышение температуры.

Приложения

1. Основные параметры микротранзисторов, установленных на стандартных микроплатах

Тип транзистора	f_α не менее, *мгц*	$I_{к.з}$ не более, *мка*	$P_к$, *мвт*	$I_к$, *ма*	$U_{к.з}$, *в*	$U_{э.б}$, *в*	$U_{к.н}$, *в*	$B_{ст}$	Технология[1]
				Германиевые транзисторы					
ТМ-2А	3	20	75	50	15	10	0,15	20—60	С
ТМ-2Б	3	20	75	50	15	10	0,15	50—150	С
ТМ-2В	9	15	75	50	10	10	0,15	30—90	С
ТМ-2Г	9	15	75	50	10	10	0,15	70—210	С
ТМ-2Д	20	15	75	50	10	10	0,15	80—250	С
ТМ-4А	60	15	75	40	15	1,5	0,5	20—75	СД
ТМ-4Б	60	15	75	40	15	1,5	0,5	50—120	СД
ТМ-4В	60	15	75	40	15	1,5	0,5	90—200	СД
ТМ-4Г	120	15	75	40	15	1,5	0,5	50—120	СД
ТМ-4Е	120	15	75	40	15	1,5	0,5	90—200	СД
ТМ-5А	1	20	75	70	15	10	0,75	20—150	С
ТМ-5Б	1	20	75	70	15	10	0,75	35—80	С
ТМ-5В	2	20	75	70	15	10	0,75	60—180	С
ТМ-5Г	3	20	75	70	15	10	0,75	110—250	С
ТМ-5Д	1	25	75	70	25	10	0,75	20—60	С
1ТМ305	200	10	75	40	15	10	0,5	25—80	СД
1ТМ305А	240	10	75	40	15	1,5	0,5	60—180	СД
1ТМ305Б	240	10	75	40	15	1,5	0,5	40—120	СД
1ТМ115А	1	(50)	50	—	50	50	0,2	20—60	С
1ТМ115Б	1	(50)	50	—	50	50	0,1	50—150	С
1ТМ115В	1	(50)	50	—	70	50	0,2	20—60	С
1ТМ115Г	1	10(50)	50	—	70	50	0,1	50—160	С
ТМ-3А	1	20	75	50	15	10	0,5	18—55	С
ТМ-3В	5	20	75	50	15	10	0,5	20—60	С
ТМ-3Г	5	20	75	50	15	10	0,5	40—120	С
ТМ-3Д	10	20	75	50	15	10	0,5	40—160	С
				Кремниевые транзисторы					
ТМ-11	0,1	20(20)	150	50	30	10	0,5	7—40	С
ТМ-11А	0,5	20(20)	150	50	15	10	0,5	10—60	С
ТМ-11Б	0,5	20(20)	150	50	15	10	0,5	19—160	С
ТМ-10	30	(15)	150	10	20	3	2,5	14—60	Д
ТМ-10А	30	(15)	150	10	20	3	2,5	28—120	Д
ТМ-10Б	30	(15)	150	10	30	3	2,5	7—32	Д
ТМ-10Г	60	(15)	150	10	20	3	2,5	7—32	Д
ТМ-10Д	60	(15)	150	10	20	3	2,5	14—60	Д
ТМ-10Е	60	(15)	150	10	20	3	2,5	28—120	Д
ТМ-10Ж	60	(15)	150	10	20	3	2,5	40—60	Д
2ТМ-103А	3	7,5(20)	75	15	120	1,5	3,3	10—50	Д
2ТМ-103Б	3	7,5(20)	75	15	120	1,5	3,3	18—90	Д
2ТМ-103В	3	7,5(20)	75	15	80	1,5	3,3	30—150	Д
2ТМ-10 Г	3	7,5(20)	75	15	80	3	3,3	10—50	Д
2ТМ-103Д	3	7,5(20)	75	15	80	3	3,3	18—90	Д

[1] Сокращенные обозначения технологии: С—сплавная; Д—диффузионная; СД—сплавная-диффузионная.

2. Основные параметры микродиодов, установленных на стандартных микроплатах

Параметры диодов	ДММ3ВП	2ДМ101А	2ДМ502А	2ДМ502Б	2ДМ502В	2ДМ502Г
Максимально допустимое обратное напряжение, *в*	15	30	30	30	100	100
Обратный ток при максимально допустимом обратном напряжении, *мка*	100	5	5	5	5	5
Максимально допустимый прямой ток при температуре +80 °С, *ма*	—	10	10	10	10	10
Максимально допустимый прямой ток в интервале температур —60÷+125 °С, *ма*	12	20	20	20	20	20
Прямое напряжение, *в*, при прямом токе, *ма*:						
5	1	—	—	—	—	—
10	—	—	1	—	1	—
50	—	—	—	1	—	1
100	—	1	—	—	—	—
Максимальное импульсное прямое падение напряжения, *в*, при импульсе прямого тока, *ма*:						
20	3,5	—	—	—	—	—
50	—	—	3,5	3,5	3,5	2,5
Время восстановления обратного сопротивления, *мксек*	0,1	—	0,5	0,5	0,5	0,5
Интервал рабочих температур, °С	—60÷+73	—60÷+80	—60÷+80	—60÷+80	—60÷+80	—60÷+80

3. Основные параметры полупроводниковых стабилитронов в микромодульном исполнении

Параметры	2СМ133А	2СМ139А	2СМ147А	2СМ156Б	2СМ168Б	2СМ180А	2СМ190А	2СМ210А	2СМ211А	2СМ213А
Напряжение стабилизации, *в*	3—3,7	3,5—4,3	4,1—5,2	5,0—6,4	6,0—7,5	7—8,5	8—9,5	9—10,5	10—12	11,5—12
Максимальный ток стабилизации, *ма*	3	3	3	3	3	—	—	—	—	—
Максимально допустимый ток стабилизации, *ма*:										
в интервале температур —60÷+50 °C	30	26	21	18	15	15	13	11	10	9
при температуре +120 °C	21	18	15	12	10	8	7,5	6,5	6	5
Динамическое сопротивление, *ом*:										
на начальном участке	—	—	—	—	—	15	22	32	36	44
на рабочем участке	65	60	56	45	15	8	12	15	18	22
Максимально допустимая мощность рассеяния, *мвт*:										
в интервале температур —60÷+50 °C	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
при температуре +120 °C	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Интервал рабочих температур, °C	—60÷+ +120	—60÷+ +120	—60÷+ +120	—60÷+ +120	—60÷+ +120	—60÷+ +120	—60÷+ +120	—60÷+ +120	—60÷+ +120	—60÷+ +120

4. Основные параметры фоторезисторов

Тип фоторезистора	Темновое сопротивление, *Мом*	Допустимая мощность рассеяния, *вт*	Рабочее напряжение, *в*	Кратность изменения сопротивления		Удельная чувствительность *ма/(лм·в)* (среднее значение)	Световой ток[2] *ма*	
				минимум	среднее значение		не менее	среднее значение
ФСА-1а	0,022—1	0,01	2—100	1,2	—	5	—	—
ФСК-1а	3,3	0,125	50	100	400	7	—	—
ФСД-1а	2,0	0,05	20	150	2 000	30	1,5	2
ФСК-5	10	0,05	50	17	1 000	220	1,5	3
ФСК-7а[1]	0,5	0,35	50	3,5	50	0,25	0,35	0,5
ФСК-7б	0,1	0,35	10	8	300	7,5	0,8	3
ФСК-П1	100	0,1	100	$(1 \div 2) \cdot 10^3$	200 000	8	1,0	2
СФ2-1	15	0,01	15	500	2 000	400	0,5	1
СФ2-2	2	0,05	2	500	3 000	75	0,5	1,5
СФ2-4	15	0,01	5	200	—	—	0,2	—
СФ2-5[3]	1	0,025	1,3	400	—	—	0,5	—
СФ2-8[3]	100	0,125	100	1 000	—	—	1,0	—
СФ2-9[3]	3,3	0,125	25	33	—	—	0,25—0,9	—
СФ2-12	15	0,01	5	600	—	—	0,2—1,2	—
СФ2-16	3,3	0,01	10	100	—	—	0,3	—
СФ3-1	30	0,01	15	1 500	150 000	600	0,75	1,5
СФ3-2	5	0,1	5	500	4 000	80	0,5	2
СФ3-5[3]	2	0,05	2	500	—	—	0,5	—
СФ3-8	20	0,05	20	500	—	—	0,5	—

[1] Параметры резисторов ФСК-7а, ФСК-7б соответствуют половине фоторезистора.

[2] Величины светового тока определены через 15 *сек* после воздействия освещенности 200 *лк*; значения темного тока определены через 30 *сек*.

[3] Параметры фоторезисторов СФ2-5, СФ2-8, СФ2-9, СФ3-5 и СФ3-8 указаны при освещенности 200 *лк*, а фоторезисторов СФ2-4 и СФ2-12—при 300 *лк*.

Литература

1. **Барканов Н. А. и др.** Конструирование микромодульной аппаратуры. М., «Советское радио», 1968.

2. **Белевцев А. Т.** Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. М., «Энергия», 1965.

3. **Воробьев С. И.** Учебный радиоконструктор на модулях. М., «Энергия», 1970.

4. **Гальперин Б. С.** Непроволочные резисторы. М., «Энергия», 1968.

5. **Гумеля Е. Б.** Налаживание транзисторных приемников. М., «Энергия», 1966.

6. **Железнов М. Т.** и др. Проволочные резисторы. М., «Энергия», 1970.

7. **Зайцев Ю. В.** Полупроводниковые резисторы. М., «Энергия», 1969.

8. Интегральные схемы. Пер. с англ. под ред. К. И. Мартюшова. М., «Советское радио», 1970.

9. **Лавриненко В. Ю.** Справочник по полупроводниковым приборам. Киев, «Техника», 1966.

10. **Мартюшов К. И., Зайцев Ю. В.** Резисторы. М., «Энергия», 1966.

11. **Мартюшов К. И., Зайцев Ю. В.** Нелинейные полупроводниковые резисторы. М., «Энергия», 1969.

12. **Цымбалюк В. С.** и др. Миниатюризация приемоусилительной аппаратуры. М., «Связь», 1968.

13. **Гришина Л. В., Белов А. Н.** Выпрямительные диоды малой мощности. — «Радио», 1969, № 8.

14. **Белов А. Н., Кузнецова Р. И., Сардаковская Л. Я.** Транзисторы малой мощности широкого применения. —«Радио», 1969, № 10.

15. **Юсов Ю. П., Власов Л. Г., Мозгов Ю. И., Огурчикова В. И.** Каталог переменных непроволочных резисторов, МЭП, 1970.

16. **Шолтмир О. Г.** Модульный радиоконструктор. — «Радио», 1969, № 11.

17. **Караченцев А. Я., Спевак В. В.** Варисторы. — «Радио», 1969, № 11.

18. **Лунев П. И., Белов Г. Н., Казаков В. В.** Селеновые стабилитроны. — «Радио», 1970, № 8.

19. **Зайцев Ю. В., Марченко А. Н.** Полупроводниковые стабилитроны. М., «Энергия», 1969.

20. **Олеск А. О., Широбоков Ю. П.** Новые фоторезисторы. — «Радио», 1970, № 11.

21. **Павлова О. В.** Транзисторы массового примснения. — «Радио», 1969, № 11.

22. **Дуленко П. И., Сальников В. А.** Новые обозначения параметров полупроводниковых приборов. — «Радио», 1970, № 10.

23. **Сардаковская Л. Я.,** Новые полупроводниковые приборы. — «Радио», 1969, № 5.

24. **Рабинович В. И., Королькова Л. А.** Керамические конденсаторы переменной емкости. — «Радио», 1970, № 7.

25. **Майоров С. А.** Микроминиатюризация и микромодули. «Энциклопедия измерений, контроля и автоматизации». М., «Энергия», 1968.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 23 коп.